

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51101 – 2016

---

# 太阳能发电站支架基础技术规范

Technical code for supporting bracket foundation  
of solar power station

2016 – 04 – 15 发布

2016 – 12 – 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

# 太阳能发电站支架基础技术规范

Technical code for supporting bracket foundation  
of solar power station

**GB 51101 - 2016**

主编部门：中 国 电 力 企 业 联 合 会

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2016 北 京

# 中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1102 号

## 住房城乡建设部关于发布国家标准 《太阳能发电站支架基础技术规范》的公告

现批准《太阳能发电站支架基础技术规范》为国家标准,编号为 GB 51101—2016,自 2016 年 12 月 1 日起实施。其中,第 3.0.3、5.1.1 为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 4 月 15 日

## 前 言

本规范根据住房城乡建设部《关于印发 2013 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》(建标〔2013〕6 号)的要求,由诺斯曼能源科技(北京)有限公司会同有关单位编制完成。

本规范在编制过程中,编制组进行了广泛的调查研究,认真总结实践经验,参考国外先进标准,与国内相关标准协调,在此基础上以多种方式广泛征求了全国有关单位的意见,对主要问题进行了反复讨论和研究,最后经审查定稿。

本规范共分 7 章,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、场地评价与岩土勘察、设计、施工、质量检验与验收等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国电力企业联合会负责日常管理,由诺斯曼能源科技(北京)股份有限公司负责具体技术内容的解释,为提高规范质量,请各单位在执行本规范的过程中,注意总结经验,积累资料,在使用过程如有意见或建议,请寄送诺斯曼能源科技(北京)股份有限公司(地址:北京市朝阳区红军营南路甲 1 号 B 座 NET 大厦六层,邮政编码:100012),以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:**中国电力企业联合会

诺斯曼能源科技(北京)股份有限公司

**参 编 单 位:**建研地基基础工程有限责任公司

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司

国家建筑工程质量监督检验中心

**主要起草人:**李 杨 吴春秋 李飞舟 阚原媛 肖大平

高文生 白永宏 穆德实 高 超 杨靖宇  
冯春祥

主要审查人:郭家宝 许松林 汪 毅 李泽文 李玉军  
张文忠 吴诗芹 高 平 孙海燕 尹显俊  
田景奎 谢艳丽 侯建国 秦初升 于金辉  
张亚林 杨铁荣 董晓清 商长征 刘焕存  
宋金鹏 张 梅

# 目 次

|     |                       |        |
|-----|-----------------------|--------|
| 1   | 总 则 .....             | ( 1 )  |
| 2   | 术语和符号 .....           | ( 2 )  |
| 2.1 | 术语 .....              | ( 2 )  |
| 2.2 | 符号 .....              | ( 3 )  |
| 3   | 基本规定 .....            | ( 7 )  |
| 4   | 场地评价与岩土勘察 .....       | ( 9 )  |
| 4.1 | 场地评价 .....            | ( 9 )  |
| 4.2 | 岩土勘察 .....            | ( 10 ) |
| 5   | 设 计 .....             | ( 14 ) |
| 5.1 | 一般规定 .....            | ( 14 ) |
| 5.2 | 基础分类与选型 .....         | ( 16 ) |
| 5.3 | 基础设计 .....            | ( 18 ) |
| 5.4 | 构造规定 .....            | ( 29 ) |
| 6   | 施 工 .....             | ( 33 ) |
| 6.1 | 一般规定 .....            | ( 33 ) |
| 6.2 | 桩基础 .....             | ( 34 ) |
| 6.3 | 扩展式基础 .....           | ( 36 ) |
| 6.4 | 锚杆基础 .....            | ( 38 ) |
| 7   | 质量检验与验收 .....         | ( 40 ) |
| 7.1 | 质量检验 .....            | ( 40 ) |
| 7.2 | 工程验收 .....            | ( 42 ) |
|     | 附录 A 支架基础质量验收记录 ..... | ( 44 ) |
|     | 本规范用词说明 .....         | ( 47 ) |
|     | 引用标准名录 .....          | ( 48 ) |
|     | 附:条文说明 .....          | ( 49 ) |

# Contents

|            |  |        |
|------------|--|--------|
| 1          | General provisions .....                                   | ( 1 )  |
| 2          | Terms and symbols .....                                    | ( 2 )  |
| 2.1        | Terms .....  | ( 2 )  |
| 2.2        | Symbols .....  | ( 3 )  |
| 3          | Basic requirements .....                                   | ( 7 )  |
| 4          | Site evaluation and geotechnical investigation .....       | ( 9 )  |
| 4.1        | Site evaluation .....                                      | ( 9 )  |
| 4.2        | Geotechnical investigation .....                           | ( 10 ) |
| 5          | Design .....   | ( 14 ) |
| 5.1        | General requirements .....                                 | ( 14 ) |
| 5.2        | Foundation types and selection .....                       | ( 16 ) |
| 5.3        | Design and calculation .....                               | ( 18 ) |
| 5.4        | Detailing requirements .....                               | ( 29 ) |
| 6          | Construction .....   | ( 33 ) |
| 6.1        | General requirements .....                                 | ( 33 ) |
| 6.2        | Spread footing .....                                       | ( 34 ) |
| 6.3        | Pile foundation .....                                      | ( 36 ) |
| 6.4        | Anchor foundation .....                                    | ( 38 ) |
| 7          | Quality inspection and acceptance .....                    | ( 40 ) |
| 7.1        | Quality inspection .....                                   | ( 40 ) |
| 7.2        | Engineering acceptance .....                               | ( 42 ) |
| Appendix A | Acceptance table of supporting bracket<br>foundation ..... | ( 44 ) |

|   |        |
|---|--------|
| Explanation of Wording in this code ..... | ( 47 ) |
| List of quoted standards .....            | ( 48 ) |
| Addition: Explanation of provisions ..... | ( 49 ) |



# 1 总 则

**1.0.1** 为了规范太阳能发电站支架基础设计、施工与验收行为，做到安全可靠、确保质量、保护环境、技术先进、经济合理，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于地面光伏和光热发电站中支撑和固定光伏组件、聚光集热器、定日镜等的支架的基础设计、施工与验收。

**1.0.3** 太阳能发电站支架基础设计与施工，应综合考虑工程地质与水文地质条件、上部支架结构类型、使用功能、荷载特征、施工条件、工期要求及地方经验。

**1.0.4** 太阳能发电站支架基础的设计、施工与验收除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 太阳能发电站 solar power station

将太阳辐射能转化为电能的发电站,包括光伏电站和光热发电站。

#### 2.1.2 支架基础 supporting bracket foundation

将支撑、固定太阳能发电站光伏组件、聚光集热器、定日镜等的支架结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

#### 2.1.3 岩土工程勘察 geotechnical investigation

通过资料收集、现场踏勘、工程勘探、原位测试和室内试验等综合手段,查明、分析、评价建设场地的工程地质、水文地质条件,编制勘察文件的活动。

#### 2.1.4 扩展式基础 spread foundation

通过向侧边扩展一定底面积,扩散上部结构传来的荷载,使作用在基底的压应力满足地基承载力的设计要求,并主要通过自重提供抗拔、抗倾覆、抗滑移承载力的基础。

#### 2.1.5 桩基础 pile foundation

设置于岩土中的与支架立柱直接连接以及成一体的桩基础或桩与连接于桩顶的承台共同组成的基础。

#### 2.1.6 锚杆基础 anchor foundation

由设置于岩土中的锚杆和与锚杆相连的混凝土承台或型钢承压板共同组成的基础。

#### 2.1.7 微型短桩基础 micro-short pile

桩径或边长小于或等于 300mm,桩长小于或等于 5m 的桩基础。

### 2.1.8 螺旋桩 helical pile

桩杆上连接一个或多个螺旋状叶片,并通过在桩顶施加扭矩旋拧钻入土中形成的一种可承受竖向和水平向荷载作用的桩。

### 2.1.9 叶片间距比 inter-helix spacing ratio

螺旋桩螺旋叶片间距与叶片直径的比值。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用和作用效应

$E_k$  ——相应于荷载标准组合时,上部支架结构传至基础顶面的水平推力;

$F_k$  ——相应于荷载标准组合时,上部支架结构传至基础顶面的竖向力值;

$G_b$  ——基础自重;

$G_k$  ——承台自重和承台上的土重;

$G_p$  ——单桩自重;

$M_k$  ——相应于荷载标准组合时,作用于基础底面的力矩值;

$M'_k$  ——相应于荷载标准组合时,上部支架结构传至基础顶面的弯矩;

$M_{xk}$  ——相应于荷载标准组合时,作用于桩(锚杆)顶平面,绕通过桩(锚杆)群形心的  $x$  轴的力矩;

$M_{yk}$  ——相应于荷载标准组合时,作用于桩(锚杆)顶平面,绕通过桩(锚杆)群形心的  $y$  轴的力矩;

$N$  ——相应于荷载基本组合时,单根锚杆承受的拉力设计值;

$N_{ik}$  ——相应于荷载标准组合时,作用于第  $i$  根单桩或单根锚杆顶的竖向力;

$p_k$  ——相应于荷载标准组合时基础底面处的平均压力值;

$p_{kmax}$  ——相应于荷载标准组合时基础底面边缘的最大压力值;

$S_d$  ——承载能力极限状态下,基本组合的效应设计值;

$S_{Ehk}$  ——水平地震作用标准值的效应;

$S_{Gk}$  ——永久荷载作用标准值的效应；  
 $S_{Mk}$  ——施工检修荷载作用标准值的效应；  
 $S_k$  ——正常使用极限状态下，标准组合的效应设计值；  
 $S_{Sk}$  ——雪荷载作用标准值的效应；  
 $S_{Wk}$  ——风荷载作用标准值的效应；  
 $T_k$  ——相应于荷载标准组合时，上部支架结构传至基础顶面的竖向拔力。

### 2.2.2 抗力和材料性能

$e$  ——孔隙比；  
 $f$  ——砂浆或细石混凝土与岩石间的黏结强度特征值；  
 $f_\alpha$  ——修正后的地基承载力特征值；  
 $f_{aE}$  ——地基抗震承载力特征值；  
 $f_{ak}$  ——由载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值；  
 $f_y$  ——锚杆筋体的抗拉强度设计值；  
 $I_p$  ——塑性指数；  
 $I_L$  ——液性指数；  
 $q_{pk}$  ——桩端土的极限端阻力标准值；  
 $q_{sik}$  ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值；  
 $Q_{uk}$  ——单桩竖向抗压极限承载力标准值；  
 $R_\alpha$  ——单桩或单根锚杆的竖向承载力特征值；  
 $T_{uk}$  ——单桩或单根锚杆的竖向抗拔极限承载力标准值；  
 $\alpha_w$  ——含水比；  
 $\gamma$  ——基础底面以下土的重度；  
 $\gamma_m$  ——基础底面以上土的加权平均重度；  
 $\lambda_c$  ——压实系数；  
 $\mu$  ——土对扩展式基础底面的摩擦系数。

### 2.2.3 几何参数

$a$  ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离；

$A$  ——基础底面面积；  
 $A_d$  ——桩端截面面积；  
 $A_D$  ——螺旋叶片投影面积；  
 $A_s$  ——锚杆筋体的截面面积；  
 $b$  ——基础底面宽度，或力矩作用方向基础底面边长；  
 $b_1$  ——基础自重重心至基础潜在倾覆转动点的水平距离；  
 $b_2$  ——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；  
 $d$  ——基础埋置深度，或桩身直径；  
 $D$  ——螺旋桩叶片直径；  
 $h$  ——基础高度；  
 $h_p$  ——螺旋桩叶片间距；  
 $h_r$  ——岩石锚杆锚入稳定岩层中的长度；  
 $l$  ——垂直于力矩作用方向的基础底面边长；  
 $l_i$  ——桩周第  $i$  层土的厚度；  
 $n$  ——单个基础中的桩数或锚杆根数；  
 $u_d$  ——桩身周长；  
 $u_i$  ——第  $i$  层土中桩周计算周长；  
 $u_r$  ——岩石锚杆的周长；  
 $W$  ——基础底面的抵抗矩；  
 $x_i$  ——第  $i$  根桩或锚杆至  $y$  轴的距离；  
 $y_i$  ——第  $i$  根桩或锚杆至  $x$  轴的距离。

#### 2.2.4 计算系数

$\psi_{Eh}$  ——水平地震作用组合值系数；  
 $\psi_M$  ——施工检修荷载作用组合值系数；  
 $\psi_S$  ——雪荷载作用组合值系数；  
 $\psi_W$  ——风荷载作用组合值系数；  
 $\gamma_{Eh}$  ——水平地震作用的分项系数；  
 $\gamma_G$  ——永久荷载作用的分项系数；

$\gamma_M$  —— 施工检修荷载作用的分项系数；  
 $\gamma_S$  —— 雪荷载作用的分项系数；  
 $\gamma_W$  —— 风荷载作用的分项系数；  
 $\eta_b$  —— 基础宽度的地基承载力修正系数；  
 $\eta_d$  —— 基础埋置深度的地基承载力修正系数；  
 $\zeta_a$  —— 地基抗震承载力调整系数；  
 $\lambda_i$  —— 抗拔系数。

### 3 基本规定

**3.0.1** 支架基础设计前应获得场地的岩土工程勘察文件、阵列总平面布置图、支架结构类型、使用条件及对基础承载力和变形的要求、施工条件、施工周期等资料。

**3.0.2** 支架基础应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

**3.0.3** 支架基础设计安全等级不应小于上部支架结构设计安全等级,结构重要性系数对于光伏电站支架基础不应小于 0.95,对于光热发电站支架基础不应小于 1.0。

**3.0.4** 支架基础设计使用年限不应小于电站设计使用年限,且不应小于 25 年。

**3.0.5** 支架基础设计和施工应考虑电站全寿命周期对环境的影响,符合当地环境保护和水土保持要求,应减少土石方挖填,减少对地表植被和表层土的破坏。

**3.0.6** 支架基础的设计和施工在满足安全性和可靠性的同时,宜采用新技术、新工艺、新材料。当场地地形起伏大、不宜大规模挖填、对生态恢复要求高或当冬季施工、施工工期紧时宜采用螺旋桩、型钢桩等基础。

**3.0.7** 对于桩基础、锚杆基础宜选择有代表性的区域进行现场试验,确定施工工艺的可行性和设计参数的可靠性。

**3.0.8** 支架基础结构混凝土强度等级不应低于 C25;结构钢筋宜选用 HRB400 钢筋,也可选用 HPB300 钢筋;结构钢材宜选用 Q235 钢、Q345 钢。

**3.0.9** 支架基础结构所用的原材料及成品构件进场时应对品种、规格、外观和尺寸进行验收,应有产品合格证书及相关性能的检验

报告,并应对必要的性能指标现场取样进行复验。原材料和成品构件进场后应分类保管,钢材、水泥等材料应储存在干燥场所,并应做好防护措施。



## 4 场地评价与岩土勘察

### 4.1 场地评价

4.1.1 根据支架布置场区场地的复杂程度,可按下列规定将场地划分为三类:

1 符合下列条件之一者为复杂场地:

- 1) 地形地貌复杂;
- 2) 地基岩土成因复杂,土质较软弱且显著不均匀;
- 3) 分布有特殊性岩土;
- 4) 不良地质作用强烈发育;
- 5) 地下水位高,对地基基础有重大影响。

2 符合下列条件之一者为中等复杂场地:

- 1) 地形地貌较复杂;
- 2) 地层层次较多,地基岩土比较软弱且不均匀;
- 3) 局部分布有特殊性岩土;
- 4) 不良地质作用一般发育;
- 5) 地下水位较高,对地基基础有一定影响。

3 符合下列条件者为简单场地:

- 1) 地形地貌简单;
- 2) 地层结构简单,地基岩土均匀性较好;
- 3) 无特殊性岩土层;
- 4) 不良地质作用不发育;
- 5) 地下水位较低,对地基基础无不良影响。

4.1.2 支架基础设计前,应对场地的下列条件进行分析判断:

1 在自然条件下,场地内有无滑坡现象,有无影响场地稳定性的断层、破碎带;

- 2 岩溶、土洞的发育程度,有无采空区;
- 3 施工过程中是否会因挖方、填方、堆载和卸载形成不稳定边坡;
- 4 出现危岩崩塌、泥石流等不良地质作用的可能性;
- 5 地表水、地下水对支架基础的影响;
- 6 是否存在人为、自然等因素引起水土流失的可能性;
- 7 是否存在地基土发生液化、震陷的可能性;
- 8 场地内是否存在湿陷性土、软土、填土、膨胀岩土、冻土、盐渍岩土、污染土等特殊岩土。

**4.1.3** 存在对支架结构有潜在威胁或直接危害的滑坡、危岩崩塌、泥石流的地段和发展断裂地带等地质灾害易发区,不应选作建设场地。

**4.1.4** 当支架布置场区位于岩溶发育地段或采空区及其影响范围内时,应进行地质灾害危险性评价,并根据建设场地适宜性的评价意见采取相应措施。

**4.1.5** 当支架布置场区内存在液化土、湿陷性土、软土、填土、膨胀岩土、冻土、盐渍岩土、污染土等特殊岩土时,应根据分布范围、危害程度、处理成本和处理工期综合确定场地的地基处理方案,选择适应的支架基础型式。

**4.1.6** 对可能受地表水、地下水或风沙影响的场地,应采取相应的防范措施。

## **4.2 岩土勘察**

**4.2.1** 支架基础设计和施工前,应进行岩土工程勘察,查明工程、水文地质条件、不良地质作用和地质灾害。

**4.2.2** 岩土工程勘察前应获得下列资料:

- 1 支架阵列布置场区的场平方案和阵列平面布置图,支架结构形式、可能采用的基础类型以及对地基基础设计、施工的要求;

- 2 拟建场地的现状地形图,比例尺对于地形地貌复杂的不应

小于 1:500,较复杂的不应小于 1:1000,简单的不应小于 1:2000;

3 拟建场地的工程地质、水文地质和地震背景资料。

**4.2.3 岩土工程勘察应采用勘探、原位测试和室内试验为主要手段,主要应进行下列工作:**

1 查明不良地质作用及其分布范围、发展趋势和危害程度;

2 查明场区地质构造、地层结构、成因年代和土层的物理力学性质;

3 查明地下水的埋藏条件、类型和水位变化幅度及规律;

4 查明地下水、土对建筑材料的腐蚀性;

5 查明场地土类型和场地类别;

6 对场地地基作出岩土工程评价,对存在的不良地质作用提出治理建议方案,提出支架基础建议方案和满足支架基础设计、施工的岩土工程参数。

**4.2.4 地基岩土的分类及工程特性指标的表示和确定,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。**

**4.2.5 勘探可采用钻探、探坑和探槽方式,滩涂等软土地层,宜采取钻探和静力触探相结合方式。**

**4.2.6 勘探、原位测试、室内试验的技术要求应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关要求。**

**4.2.7 勘探点的间距和数量应根据支架阵列平面布置特点和场地岩土工程条件综合确定,并应符合下列规定:**

1 勘探点间距宜按场区场地的复杂程度确定。简单场地勘探点间距应为 150m~200m;中等复杂场地勘探点间距应为 100m~150m,复杂场地勘探点间距应不大于 50m。

2 勘探点应在场区内按支架阵列排布均匀布置,并应涵盖场区内的各类地貌、地质单元,局部岩土层变化较大区域,应加密勘探点。

3 采取土试样和进行原位测试勘探点的数量应按地基岩土

的复杂程度确定,不应少于勘探点总数的  $1/2$ ,取土试样勘探点数量不应少于勘探点总数的  $1/3$ ,且应均匀布置,有代表性,每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 6 件(组)。

**4.2.8** 勘探孔深度应根据支架基础类型和地基岩土性质确定,并应符合下列要求:

1 勘探孔的深度应能控制地基主要受力层,不应小于扩展式基础基底下基础底面宽度的 3 倍或桩式基础预计桩端平面以下 3m,且不应小于 5m,对于软土应加深或穿透软土层;

2 需验算基础的沉降变形时,应布置不小于  $1/3$  总勘探孔数的控制性勘探孔,勘探孔的深度应超过基础底面以下的地基压缩层计算深度;

3 当存在特殊性土或为查明不良地质作用时,勘探孔的深度尚应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定;

4 对需要进行场地平整的场地,应按最终场平标高确定勘探孔深度;

5 在预定深度内遇到基岩或厚层碎石土等稳定地层时,宜减少勘探孔深度,但不应小于 3m。

**4.2.9** 勘察报告除应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《光伏电站设计规范》GB 50797 中对勘察报告的要求外,尚应满足下列要求:

1 对表层填土应描述其物质成分、堆积年代、密实度和均匀性,对厚度超过 1m 的填土应根据其物质成分采用适宜的手段进行原位测试,报告中应给出相应的物理力学参数;

2 对各土层应提供地基承载力特征值、桩的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值等支架基础设计用参数的建议值;

3 应评价场地土和水对混凝土、混凝土中的钢筋、钢结构等建筑材料的腐蚀性;

4 考虑季节性冻土冻胀性对基础的影响时,应评价其冻胀

等级。

**4.2.10** 水、土对建筑材料的腐蚀性评价应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。当土的 pH 值大于 9.5 时或对钢结构的腐蚀性评价等级低于对混凝土结构中的钢筋的腐蚀性评价等级时,土对钢结构的腐蚀性评价应进行专项论证。

## 5 设 计

### 5.1 一 般 规 定

#### 5.1.1 支架基础应按下列规定进行承载力计算和稳定性验算：

- 1 各类型基础均应进行竖向承载力计算；
- 2 桩基础应进行水平承载力计算；
- 3 扩展式基础应进行抗滑移、抗倾覆验算；
- 4 对单立柱单桩基础应进行抗弯承载力验算；
- 5 承受荷载较大的支架基础应对基础结构承载力和裂缝宽度进行验算。

#### 5.1.2 支架基础有下列情况之一时应做变形验算：

- 1 基底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 同一阵列基础位于性质差异较大的土层,可能产生过大的不均匀沉降；
- 3 其他对支架基础变形有特殊要求的情况。

#### 5.1.3 支架基础设计时,采用的作用效应与相应的抗力限值应符合下列规定：

- 1 除应考虑永久荷载外,还应根据建设地点、使用情况考虑风荷载、雪荷载和施工检修荷载,必要时应考虑地震作用。根据支架结构上可能同时出现的荷载,按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合,并应取各自最不利的组合进行设计；
- 2 确定支架基础底面积、桩、锚杆数量时,应采用作用的标准组合,相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩、单根锚杆承载力特征值;计算支架基础结构承载力时,应采用作用的基本组合,采用相应的分项系数;计算地基基础变形时,应采用作用的标准组

合,不应计入地震作用,相应的限值应为地基基础沉降、变形的允许值;验算支架基础的稳定和裂缝宽度时,应采用作用的标准组合。

#### 5.1.4 支架基础设计时,荷载组合的效应设计值应符合下列规定:

1 正常使用极限状态下,标准组合的效应设计值  $S_k$  应按下列式确定:

$$S_k = S_{Gk} + \psi_w S_{wk} + \psi_s S_{sk} + \psi_{eh} S_{ehk} + \psi_m S_{mk} \quad (5.1.4-1)$$

式中:  $S_{Gk}$  ——永久荷载作用标准值  $G_k$  的效应;

$S_{wk}$ 、 $\psi_w$  ——风荷载作用标准值  $Q_{wk}$  的效应和其组合值系数;

$S_{sk}$ 、 $\psi_s$  ——雪荷载作用标准值  $Q_{sk}$  的效应和其组合值系数;

$S_{ehk}$ 、 $\psi_{eh}$  ——水平地震作用标准值  $Q_{ehk}$  的效应和其组合值系数;

$S_{mk}$ 、 $\psi_m$  ——施工检修荷载作用标准值  $Q_{mk}$  的效应和其组合值系数。

2 承载能力极限状态下,基本组合效应设计值  $S_d$  应按下列式确定:

$$S_d = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_w \psi_w S_{wk} + \gamma_s \psi_s S_{sk} + \gamma_{eh} \psi_{eh} S_{ehk} + \gamma_m \psi_m S_{mk} \quad (5.1.4-2)$$

式中:  $\gamma_G$  ——永久荷载作用的分项系数,一般情况下应取 1.2,当永久荷载对结构有利时,不应大于 1.0;

$\gamma_w$  ——风荷载作用的分项系数,应取 1.4;

$\gamma_s$  ——雪荷载作用的分项系数,应取 1.4;

$\gamma_{eh}$  ——水平地震作用的分项系数,应取 1.3;

$\gamma_m$  ——施工检修荷载作用的分项系数,应取 1.4。

3 各种组合工况下的可变荷载组合值系数应符合表 5.1.4 的规定。

表 5.1.4 各种组合工况下的可变荷载组合值系数

| 荷载作用组合工况      | $\psi_w$ | $\psi_s$ | $\psi_{eh}$ | $\psi_m$ |
|---------------|----------|----------|-------------|----------|
| 永久荷载+负风荷载     | 1.0      | —        | —           | —        |
| 永久荷载+正风荷载+雪荷载 | 1.0      | 0.7      | —           | —        |
| 永久荷载+雪荷载+正风荷载 | 0.6      | 1.0      | —           | —        |

续表 5.1.4

| 荷载作用组合工况    | $\psi_w$ | $\psi_s$ | $\psi_{Eh}$ | $\psi_M$ |
|-------------|----------|----------|-------------|----------|
| 永久荷载+水平地震作用 | —        | —        | 1.0         | —        |
| 永久荷载+施工检修荷载 | —        | —        | —           | 1.0      |

注:1 表中“—”号表示组合中不考虑该项荷载或作用效应;

2 水平地震作用应计入雪荷载的影响;

3 对于高耸结构,抗震验算时尚应考虑风荷载作用,风荷载的组合值系数取 0.2;

4 正风荷载指组件正面为受荷面时的风荷载,负风荷载指组件背面为受荷面时的风荷载。

**5.1.5** 风荷载和雪荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的方法确定。基本风压和基本雪压应采用重现期不低于支架基础设计使用年限的值,对于光伏电站支架基础可取重现期不小于 25 年的值。

**5.1.6** 对于新近填土、湿陷性土、季节性冻土、膨胀土,应考虑负摩阻力、冻胀力、胀切力对基础承载力和稳定性的影响,地基基础的设计除应满足本规范的相关规定外,尚应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025、《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118、《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 的规定。

**5.1.7** 支架基础耐久性设计应根据支架基础设计使用年限和环境类别确定。支架基础的防腐设计除应满足本规范的相关规定外,尚应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的规定。

## 5.2 基础分类与选型

**5.2.1** 支架基础可根据承载性状分为桩基础、扩展式基础和锚杆基础。

**5.2.2** 桩基础可分为预制桩基础和灌注桩基础。预制桩可分为钢桩、混凝土预制桩和预应力混凝土桩。钢桩按施工方式可分为



螺旋桩和锤击(静压)型钢桩。混凝土预制桩和预应力混凝土桩的分类应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定执行。

5.2.3 扩展式基础宜采用混凝土独立基础和条形基础,当采用条形基础时应采用配筋扩展式基础。

5.2.4 支架基础选型应根据下列因素综合确定:

- 1 支架结构形式和所承受荷载的特征;
- 2 土的性状及地下水条件;
- 3 施工工艺的可行性;
- 4 施工场地条件及施工季节;
- 5 经济指标、环保性能和施工工期。

5.2.5 支架基础类型的选择可按表 5.2.5 执行。

表 5.2.5 支架基础类型的选择

| 岩土条件 \ 支架基础类型 |          | 螺旋桩   | 型钢桩 | 混凝土预制桩 | 预应力混凝土桩 | 灌注桩 | 混凝土独立基础 | 混凝土条形基础 | 锚杆基础 |
|---------------|----------|-------|-----|--------|---------|-----|---------|---------|------|
| 岩石            | 残积土      | ○     | ○   | △      | △       | △   | △       | △       | ×    |
|               | 全风化      | ○     | ○   | △      | △       | △   | △       | △       | ×    |
|               | 强风化      | ×     | ×   | ×      | ×       | ○   | △       | △       | ×    |
|               | 中等风化~未风化 | ×     | ×   | ×      | ×       | ○   | ×       | ×       | ○    |
| 碎石土           | 漂石、块石    | ×     | ×   | ×      | ×       | ○   | △       | △       | ×    |
|               | 卵石、碎石    | △     | ×   | ×      | ×       | ○   | △       | △       | ×    |
|               | 圆砾、角砾    | ○     | △   | ×      | ×       | △   | △       | △       | ×    |
| 砂土            | 密实       | 松散~稍密 | ○   | ○      | △       | △   | △       | △       | ×    |
|               | 中密~密实    |       | ○   | ○      | ×       | ×   | △       | △       | ×    |
| 粉土            | 稍密~密实    | ○     | ○   | △      | △       | △   | △       | △       | ×    |
| 黏土            | 流塑~软塑    | △     | ×   | ○      | ○       | ×   | ×       | ×       | ×    |
|               | 可塑~坚硬    | ○     | ○   | △      | △       | △   | △       | △       | ×    |

续表 5.2.5

| 岩土条件 \ 支架基础类型 |   | 螺旋桩 | 型钢桩 | 混凝土预制桩 | 预应力混凝土桩 | 灌注桩 | 混凝土独立基础 | 混凝土条形基础 | 锚杆基础 |
|---------------|---|-----|-----|--------|---------|-----|---------|---------|------|
| 地下水           | 有 | —   | —   | —      | —       | ×   | ×       | ×       | ×    |
|               | 无 | —   | —   | —      | —       | ○   | ○       | ○       | ○    |

注:1 表中符号“○”表示适用,“△”表示可以采用,“×”表示不适用,“—”表示此项无影响;

2 表中基础桩指的是微型短桩,其他基础桩应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定进行选择;

3 对于锚杆基础尚应要求岩石的完整程度为较完整~完整,且适用于岩石埋深线或直接出露的场区;

4 寒冷、严寒地区冬季施工不宜采用现浇施工工艺。

**5.2.6** 同一阵列支架基础宜采用同类型基础形式。

**5.2.7** 对于桩基础,可在桩顶处加设混凝土护墩或侧向支撑来提高基础的抗水平和抗弯承载力。

### 5.3 基础设计

**5.3.1** 支架基础宜以原状土或压实填土作为地基持力层,未经检验查明以及不符合质量要求的填土不得作为支架基础的地基持力层。

**5.3.2** 当利用压实填土作为支架基础的地基持力层时,应符合下列规定:

1 不得采用淤泥、耕土、冻土、膨胀性土以及有机质含量大于5%的土作为填料,填料中不得含有植物残体、垃圾等杂质;

2 当选用砂土和碎石土回填时,应级配良好,最大粒径不宜大于200mm;

3 以粉质黏土、粉土作为填料时,其含水量宜为最优含水量,最优含水量可采用击实试验确定;

4 压实填土的质量用压实系数  $\lambda_c$  进行控制,且应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 压实填土地基压实系数控制值

| 填 土 部 位  | 压实系数 ( $\lambda_c$ ) |             | 控制含水量<br>(%)        |
|--|----------------------|-------------|---------------------|
|  | 光伏电站                 | 光热电站        |                     |
| 扩展式基础基底下基础底面宽度的<br>3 倍且不小于 3m 或桩基础桩顶至预计<br>桩端平面以下 3m | $\geq 0.95$          | $\geq 0.96$ | $\omega_{op} \pm 2$ |
| 其他部位   | $\geq 0.93$          | $\geq 0.94$ |                     |

注:压实系数  $\lambda_c$  为填土的实际干密度  $\rho_d$  与最大干密度  $\rho_{dmax}$  的比值;  $\omega_{op}$  为最优含水量。土的最大干密度宜采用击实试验确定;碎石土的最大干密度可取  $2.1\text{t/m}^3 \sim 2.2\text{t/m}^3$ 。

5.3.3 位于塘、沟、积水洼地等地区的填土地基,填土施工前宜清除底层软弱土体。填方设计前应查明地下水和地表水的补给与排泄条件,当填土阻碍原地下水和地表水的畅通排泄时,应采取防止土颗粒流失的措施。

5.3.4 多桩基础中的单桩和锚杆基础中的单根锚杆应按下式计算桩顶和锚杆顶的竖向作用效应:

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (5.3.4)$$

式中:  $N_{ik}$  ——相应于荷载标准组合时,作用于第  $i$  根单桩或单根锚杆顶的竖向力(kN),对于锚杆只考虑竖向拔力;

$F_k$  ——相应于荷载标准组合时,上部支架结构传至基础顶面的竖向力值(kN);

$G_k$  ——承台自重和承台上的土重(kN),地下水位以下取浮重度;

$M_{xk}$ 、 $M_{yk}$  ——相应于荷载标准组合时,作用于桩(锚杆)顶平面,绕通过桩(锚杆)群形心的  $x$  轴、 $y$  轴的力矩(kN·m);

$x_i$ 、 $x_j$ 、 $y_i$ 、 $y_j$  ——第  $i$ 、 $j$  根桩或锚杆至  $y$ 、 $x$  轴的距离(m);

$n$  ——单个基础中的桩数或锚杆根数。

**5.3.5** 竖向压力作用下单桩的竖向抗压承载力特征值应满足下式要求:

$$R_a = \frac{Q_{uk}}{2} \geq N_k \quad (5.3.5-1)$$

竖向拔力作用下单桩和单根锚杆的竖向抗拔承载力特征值应满足下式要求:

$$R_a = \frac{T_{uk}}{2} \geq N_k - G_p \quad (5.3.5-2)$$

式中:  $R_a$  ——单桩或单根锚杆的竖向承载力特征值(kN);

$Q_{uk}$  ——单桩竖向抗压极限承载力标准值(kN);

$T_{uk}$  ——单桩或单根锚杆的竖向抗拔极限承载力标准值(kN);

$G_p$  ——单桩自重(kN),地下水位以下取浮重度。

**5.3.6** 除微型短桩外,单桩的承载力应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定确定。微型短桩的承载力应通过单桩静载荷试验确定,也可按本规范第 5.3.7 条~第 5.3.11 条的规定进行估算。

**5.3.7** 当根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系确定等截面微型短桩的抗压极限承载力标准值时,可按下列式估算:

$$Q_{uk} = u_d \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_d \quad (5.3.7)$$

式中:  $u_d$ 、 $A_d$  ——桩身周长(m)和桩端截面面积(m<sup>2</sup>);

$l_i$  ——桩周第  $i$  层土的厚度(m);

$q_{sik}$ 、 $q_{pk}$  ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值、桩端土的极限端阻力标准值(kPa),由当地静载荷试验结果统计分析算得。无当地经验时,可由现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 按照岩土物理力学指标查表取值,桩端极限端阻力标

准值除打入、压入式预制桩外可取经深度修正后地基承载力特征值的 2 倍。

**5.3.8** 当根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系确定等截面微型短桩的极限抗拔承载力标准值时,可按式估算:

$$T_{uk} = u_d \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (5.3.8)$$

式中:  $\lambda_i$  ——抗拔系数,对于岩石可取 0.8,对于砂土可取 0.5,对于黏性土、粉土可取 0.7。

**5.3.9** 当根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系确定螺旋桩的抗压极限承载力标准值时,可按式估算:

$$Q_{uk} = \sum u_i q_{sik} l_i + q_{pk} A_D \quad (5.3.9)$$

式中:  $u_i$  ——第  $i$  层土中桩周计算周长,可按表 5.3.9 取值;

$A_D$  ——螺旋叶片投影面积( $m^2$ )。

**表 5.3.9 螺旋桩抗压承载力计算桩周计算周长  $u_i$  的取值**

| 部 位      |                | $u_i$   |
|----------|----------------|---------|
| 最上一道叶片以上 | 叶片以上 $1D$ 范围   | 0       |
|          | 其余部位           | $\pi d$ |
| 叶片之间     | 上道叶片以下 $3D$ 范围 | $\pi D$ |
|          | 下道叶片以上 $1D$ 范围 | 0       |
|          | 其余部位           | $\pi d$ |

注:如叶片间距  $h_p \leq 3D$ ,则叶片之间  $u_i = \pi D$ ,如  $3D < h_p < 4D$ ,则叶片之间除下道叶片以上( $h_p - 3D$ )范围内  $u_i = 0$  外,其余部位  $u_i = \pi D$ 。

**5.3.10** 当根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系确定螺旋桩的抗拔极限承载力标准值时,可按式估算,式中第  $i$  层土中桩周计算周长  $u_i$  可按表 5.3.10 取值,抗拔系数  $\lambda_i$  可按本规范第 5.3.8 条取值。

$$T_{uk} = \sum \lambda_i u_i q_{sik} l_i \quad (5.3.10)$$

表 5.3.10 螺旋桩抗拔承载力计算桩周计算周长  $u_i$  的取值

| 部 位      |                | $u_i$   |
|----------|----------------|---------|
| 最上一道叶片以上 | 叶片以上 $2D$ 范围   | $\pi D$ |
|          | 其余部位           | $\pi d$ |
| 叶片之间     | 下道叶片以上 $3D$ 范围 | $\pi D$ |
|          | 上道叶片以下 $1D$ 范围 | 0       |
|          | 其余部位           | $\pi d$ |

注:如叶片间距  $h_p \leq 3D$ ,则叶片之间  $u_i = \pi D$ ,如  $3D < h_p < 4D$ ,则叶片之间除上道叶片以下( $h_p - 3D$ )范围内  $u_i = 0$  外,其余部位  $u_i = \pi D$ 。

**5.3.11** 桩基础水平承载力特征值应通过现场水平载荷试验确定。当按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定估算时,尚应符合下列要求:

- 1 当桩径小于 300mm 时,宜降低桩身计算宽度;
- 2 螺旋桩可按桩径为  $d$  的等截面桩进行计算;
- 3 当前后排桩基础通过上部支架连接时,可考虑支架刚度对桩基础水平承载力的影响。

**5.3.12** 桩基础的桩身承载力和抗裂验算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定,对于螺旋桩尚应验算施工扭矩作用下的桩身承载力。

**5.3.13** 扩展式基础的基底压力,应符合下列规定:

- 1 相应于荷载标准组合时基础底面处的平均压力值  $p_k$  应满足下式要求:

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \leq f_a \quad (5.3.13-1)$$

式中:  $f_a$  ——修正后的地基承载力特征值(kPa);

$A$  ——基础底面面积( $m^2$ )。

- 2 相应于荷载标准组合时基础底面边缘的最大压力值  $p_{kmax}$  应满足下式要求:

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \leq 1.2f_a \quad (5.3.13-2)$$

式中： $M_k$ ——相应于荷载标准组合时，作用于基础底面的力矩值( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )；

$W$ ——基础底面的抵抗矩( $\text{m}^3$ )。

当基础底面形状为矩形且偏心距  $e > b/6$  时(图 5.3.13)， $p_{k\max}$  应按下式计算：

$$p_{k\max} = \frac{2(F_k + G_k)}{3la} \quad (5.3.13-3)$$

式中： $l$ ——垂直于力矩作用方向的基础底面边长( $\text{m}$ )；

$a$ ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离( $\text{m}$ )。

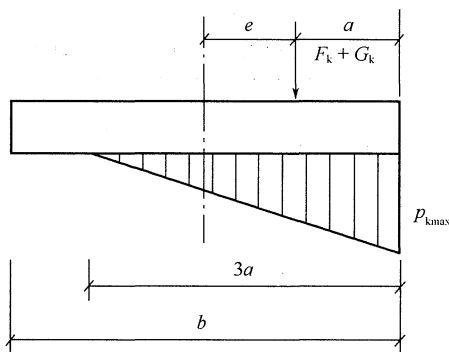


图 5.3.13 偏心荷载( $e > b/6$ )下基底压力计算示意

$b$ —力矩作用方向基础底面边长

**5.3.14** 地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，应按式 5.3.14-1 进行修正；进行抗震承载力验算时，应按式 5.3.14-2 将地基承载力特征值乘以地基抗震承载力调整系数，采用地基抗震承载力特征值  $f_{aE}$ 。

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma(b-3) + \eta_d \gamma_m(d-0.5) \quad (5.3.14-1)$$

$$f_{aE} = \zeta_a f_a \quad (5.3.14-2)$$

式中： $f_{ak}$ ——由载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值( $\text{kPa}$ )；

$\eta_b$ 、 $\eta_d$  ——基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数,按基础底下土的类别查表 5.3.14-1 取值;

$\gamma$  ——基础底面以下土的重度( $\text{kN/m}^3$ ),地下水位以下取浮重度;

$\gamma_m$  ——基础底面以上土的加权平均重度( $\text{kN/m}^3$ ),位于地下水位以下的土层取有效重度;

$b$  ——基础底面宽度(m),当基础底面宽度小于 3m 时按 3m 取值,大于 6m 时按 6m 取值;

$d$  ——基础埋置深度(m);

$\zeta_a$  ——地基抗震承载力调整系数,按表 5.3.14-2 取值。

表 5.3.14-1 基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数

| 土的类别                  |   | $\eta_b$ | $\eta_d$ |
|-----------------------|---|----------|----------|
| 大面积<br>压实填土           | 压实系数大于 0.95、黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土 | 0        | 1.5      |
|                       | 最大干密度大于 $2100\text{kg/m}^3$ 的级配砂石       | 0        | 2.0      |
| 黏性土                   | $e$ 或 $I_L$ 均大于或等于 0.85                 | 0        | 1.0      |
|                       | $e$ 及 $I_L$ 均小于 0.85                    | 0.3      | 1.6      |
| 红黏土                   | 含水比 $\alpha_w > 0.8$                    | 0        | 1.2      |
|                       | 含水比 $\alpha_w \leq 0.8$                 | 0.15     | 1.4      |
| 粉土                    | 黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土             | 0.3      | 1.5      |
|                       | 黏粒含量 $\rho_c < 10\%$ 的粉土                | 0.5      | 2.0      |
| 粉砂、细砂(不包括很湿与饱和时的稍密状态) |   | 2.0      | 3.0      |
| 中砂、粗砂、砾砂和碎石土          |   | 3.0      | 4.4      |

注:1 地基承载力特征值按深层平板载荷试验确定时  $\eta_d$  取 0;

2 含水比是指土的天然含水量与液限的比值。

表 5.3.14-2 地基抗震承载力调整系数

| 岩土名称和性状   | $\zeta_a$ |
|---|-----------|
| 岩石,密实的碎石土,密实的砾、粗、中砂, $f_{ak} \geq 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土                                    | 1.5       |
| 中密、稍密的碎石土,中密和稍密的砾、粗、中砂,密实和中密的细、粉砂, $150\text{kPa} \leq f_{ak} < 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土 | 1.3       |



续表 5.3.14-2

| 岩土名称和性状  | $\zeta_a$ |
|--|-----------|
| 稍密的细、粉砂, $100\text{kPa} \leq f_{sk} < 150\text{kPa}$ 的黏性土和粉土, 可塑黄土 | 1.1       |
| 松散的沙, 杂填土, 新近堆积黄土  | 1.0       |

**5.3.15** 对于基础埋置深度小于 0.5m 的扩展式基础应进行抗滑移稳定性验算, 并应满足下式要求:

$$\frac{(G_b - T_k)\mu}{E_k} \geq 1.3 \quad (5.3.15)$$

式中:  $G_b$  ——基础自重(kN);

$T_k$  ——相应于荷载标准组合时, 上部支架结构传至基础顶面的竖向拔力(kN), 当为压力时取负值;

$E_k$  ——相应于荷载标准组合时, 上部支架结构传至基础顶面的水平推力(kN);

$\mu$  ——土对扩展式基础底面的摩擦系数, 应由试验确定, 也可按表 5.3.15 选用。

表 5.3.15 土对扩展式基础底面的摩擦系数

| 土的类别     |    | 摩擦系数 $\mu$ |
|----------|----|------------|
| 黏性土      | 可塑 | 0.25~0.30  |
|          | 硬塑 | 0.30~0.35  |
|          | 坚硬 | 0.35~0.45  |
| 粉土       |    | 0.30~0.40  |
| 中砂、粗砂、砂砾 |    | 0.40~0.50  |
| 碎石土      |    | 0.40~0.60  |
| 软质岩      |    | 0.40~0.60  |
| 表面粗糙的硬质岩 |    | 0.65~0.75  |

注: 1 对易风化的软质岩和塑性指数  $I_p$  大于 22 的黏性土, 基底摩擦系数应通过试验确定;

2 对碎石土, 可根据其密实程度、填充物状况、风化程度等确定。

**5.3.16** 对于沿支架前后方向布置的扩展式基础和单(排)立柱柱

下的扩展式基础,应按图 5.3.16 所示进行前后方向的抗倾覆稳定性验算,并应满足下式要求:

当基础承受的竖向力为拔力时:

$$\frac{G_b b_1}{M_k + T_k b_2 + E_k h} \geq 1.6 \quad (5.3.16-1)$$

当基础承受的竖向力为压力时:

$$\frac{G_b b_1 - T_k b_2}{M_k + E_k h} \geq 1.6 \quad (5.3.16-2)$$

式中:  $M_k$  —— 相应于荷载标准组合时,上部支架结构传至基础顶面的弯矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$b_1$  —— 基础自重重心至基础潜在倾覆转动点的水平距离( $\text{m}$ );

$b_2$  —— 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( $\text{m}$ );

$h$  —— 基础高度( $\text{m}$ )。

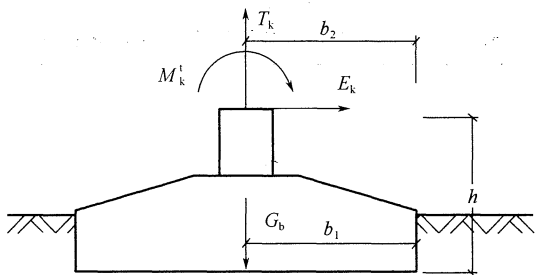


图 5.3.16 扩展式基础抗倾覆稳定验算示意图

**5.3.17** 对于双排、多排立柱柱下独立基础或沿支架长度方向布置的条形基础,应进行抗拔稳定性验算,并应满足下式要求:

$$\frac{G_b}{T_k} \geq 1.6 \quad (5.3.17)$$

**5.3.18** 对于承受较大荷载的扩展式基础,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定验算柱与基础交接处

以及基础变阶处的受冲切和受剪切承载力,并按抗弯计算确定基础底板的配筋。

**5.3.19** 锚杆的抗拔极限承载力标准值应通过现场原位试验确定。当锚杆间距不满足本规范第 5.4.16 条的构造规定时,应根据群锚效应对抗拔承载力进行折减或进行群锚试验。

**5.3.20** 单根岩石锚杆与岩石间的黏结强度应满足下式要求:

$$N_k \leqslant 0.8u_r h_r f \quad (5.3.20)$$

式中:  $u_r$  ——岩石锚杆的周长(m);

$h_r$  ——岩石锚杆锚入稳定岩层中的长度(m),当长度超过 13 倍锚杆直径时,按 13 倍直径计算;

$f$  ——砂浆或细石混凝土与岩石间的黏结强度特征值(kPa),由试验确定,当缺乏试验资料时,可按表 5.3.20 取用。

**表 5.3.20 砂浆或细石混凝土与岩石间的黏结强度特征值(MPa)**

| 岩石坚硬程度 | 软岩   | 较软岩     | 硬质岩     |
|--------|------|---------|---------|
| 黏结强度   | <0.2 | 0.2~0.4 | 0.4~0.6 |

注:表中数值针对水泥砂浆强度为 30MPa 或细石混凝土强度等级为 C30 的情况。

**5.3.21** 锚杆基础锚筋的截面面积应满足下式要求:

$$N \leqslant f_y A_s \quad (5.3.21)$$

式中:  $N$  ——相应于荷载基本组合时,单根锚杆承受的拉力设计值;

$f_y$  ——锚杆筋体的抗拉强度设计值;

$A_s$  ——锚杆筋体的截面面积。

**5.3.22** 锚杆基础的锚筋宜采用热轧带肋钢筋。植筋锚杆基础的胶粘剂除应满足力学强度的要求外,还应具有耐环境因素作用的性能。岩石锚杆基础的灌浆料宜采用水泥砂浆或细石混凝土,水泥砂浆强度不宜低于 25MPa,细石混凝土强度等级不宜低于 C25。

**5.3.23** 支架基础的变形特征可分为沉降量、沉降差和倾斜。支

架基础的变形量应满足上部支架结构对地基基础变形的适应能力和使用要求,且变形允许值宜符合表 5.3.23 的规定。

表 5.3.23 支架基础的变形允许值

| 支 架 类 型 |       | 变 形 特 征 |           |       |
|---------|-------|---------|-----------|-------|
|         |       | 沉降量(mm) | 沉降差(mm)   | 倾斜(‰) |
| 光伏发电站   | 固定式   | 60      | 0.005 $l$ | 5     |
|         | 固定可调式 | 50      | 0.003 $l$ | 3     |
|         | 单轴跟踪  | 50      | 0.003 $l$ | 3     |
|         | 双轴跟踪  | 70      | /         | 5     |
| 光热发电站   | 槽式    | 40      | 0.002 $l$ | 2     |
|         | 塔式    | 70      | /         | 5     |
|         | 蝶式    | 70      | /         | 5     |
|         | 菲涅尔式  | 40      | 0.002 $l$ | 2     |

注:1 沉降差指同一阵列中相邻立柱下基础的沉降差值,  $l$  为相邻基础的中心距离(mm);

2 倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值。

**5.3.24** 扩展式基础的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;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;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。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。

**5.3.25** 强腐蚀环境中不宜采用钢桩基础,腐蚀等级为中及以下土壤环境中钢桩基础的防腐处理应符合下列规定:

1 钢桩基础的防腐处理可采用外表面涂镀防腐层、增加腐蚀余量及采用特殊耐腐蚀材料等措施;当钢管桩内壁同外界隔绝时,

可不考虑内壁防腐；

2 钢桩的腐蚀速率当无实测资料时可按表 5.3.25-1 确定；

表 5.3.25-1 钢桩的腐蚀速率(mm/年)

| 钢桩所处环境 |                | 单面腐蚀率    |
|--------|----------------|----------|
| 地面以上   | 无腐蚀性气体或腐蚀性挥发介质 | 0.05~0.1 |
| 地面以下   | 水位以上           | 0.05     |
|        | 水位以下           | 0.03     |
|        | 水位波动区          | 0.1~0.3  |

3 钢桩镀锌层的腐蚀速率当无实测资料时可按表 5.3.25-2 确定。

表 5.3.25-2 钢桩镀锌层的腐蚀速率(μm/年)

| 使用年 限     | 单面腐蚀率 |
|-----------|-------|
| 投入使用前 2 年 | 15    |
| 2 年以后     | 4     |

5.3.26 混凝土基础的耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。位于腐蚀性环境中的混凝土基础应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的相关规定采取防腐措施。

## 5.4 构造规定

5.4.1 基桩布置应符合下列规定：

1 非挤土桩的中心距不应小于桩身直径的 3 倍；

2 非饱和土和饱和非黏性土中挤土桩的中心距不应小于桩身直径的 3.5 倍，饱和黏性土中挤土桩的中心距不应小于桩身直径的 4 倍；

3 螺旋桩中心距尚应大于叶片直径的 2 倍。

5.4.2 基桩进入土层的有效长度，对于岩石地基不宜小于 0.8m，

对于其他土层不宜小于 1.3m。灌注桩直径不宜小于 150mm,预制混凝土方桩边长不宜小于 200mm,预应力混凝土管桩直径不宜小于 300mm,螺旋桩桩杆直径不宜小于 76mm。

**5.4.3** 螺旋桩的钢管壁厚不应小于 4mm,叶片不应少于 2 道,叶片直径不宜小于桩杆直径的 2 倍,也不宜大于桩杆直径的 4 倍,叶片厚度不应小于 5mm,叶片间距宜为叶片直径的 3 倍~4 倍。

**5.4.4** 钢桩防腐采用热浸镀锌时,镀锌层局部最小厚度不宜小于  $60\mu\text{m}$ ,平均厚度不宜小于  $80\mu\text{m}$ 。

**5.4.5** 桩基础与上部支架的连接应安全可靠,对于地形起伏较大的场地,桩顶与上部支架的连接宜采取具有高度可调节功能的设计。

**5.4.6** 灌注桩加筋体可采用钢管、钢筋笼或是钢管与钢筋组合形式,并应符合下列规定:

1 加筋体的配置应通过计算确定,并应满足最小配筋率的要求。采用钢筋笼时,纵向主筋最小配筋率不应小于  $0.2\% \sim 0.65\%$ (微型桩取大值),且对于微型桩不应少于  $3\phi 10$ ,其他情况不应少于  $6\phi 10$ ,宜通长配筋,并应沿桩周边均匀布置;

2 箍筋宜采用螺旋式,直径不应小于 6mm,间距宜为 150mm~300mm,当承受较大水平荷载时,箍筋宜适当加密;

3 灌注桩桩顶设预埋锚筋时,锚筋宜与桩身加筋体焊接连接,采用锚固连接时,锚固长度应符合本规范第 5.4.15 条的规定。

**5.4.7** 混凝土桩基的桩身材料除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 及《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的有关规定外,尚应满足预制桩的混凝土强度等级不应低于 C30,预应力桩的混凝土强度等级不应低于 C40,灌注桩的混凝土强度等级不应低于 C25。微型灌注桩宜采用细石混凝土,也可采用水泥砂浆,水泥砂浆的强度等级不应低于 M30。

**5.4.8** 灌注桩钢管的混凝土保护层厚度不应小于 25mm,砂浆保

护层厚度不应小于 35mm;灌注桩主筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm;预制桩纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 25mm。

**5.4.9** 扩展式基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性的要求,除岩石地基外,扩展式基础的埋置深度不宜小于 0.5m。在季节性冻土地区,确定扩展式基础埋置深度时尚应考虑地基土的冻胀性和场地冻结深度。场地冻结深度应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 确定。

**5.4.10** 采用预制扩展式基础时,应设置混凝土垫层。预制扩展式基础的垫层厚度不应小于 100mm,现浇扩展式基础的垫层厚度不宜小于 70mm。垫层混凝土强度等级不宜低于 C15,每边宽出基础边缘不宜小于 100mm。

**5.4.11** 无筋扩展式基础的混凝土强度等级不应低于 C25,基础高度不宜小于 500mm,宽高比不应大于 2:1。

**5.4.12** 配筋扩展式基础的边缘高度不宜小于 200mm,顶面坡度不宜大于 1:3,阶梯型基础的每阶高度宜为 300mm~500mm。条形基础尚应满足下列规定:

- 1 截面高度宜为柱距的  $1/3 \sim 1/8$ ;
- 2 端部宜向外伸出,长度不宜小于 200mm。

**5.4.13** 配筋扩展式基础受力钢筋配筋率不应小于 0.15%,受力钢筋直径不应小于 10mm,间距宜为 100mm~200mm;条形基础应沿长度方向布置箍筋,直径不应小于 6mm,间距不应大于 300mm,基础顶部和底部各应有不少于 2 根通长钢筋;条形基础高度大于 450mm 时,沿高度每 200mm~300mm 应设 1 根直径 8mm~12mm 的构造钢筋。当基础受力钢筋实际配筋量比计算量多 1/3 以上,且满足其他构造要求时,可不受本条最小配筋率的限制。

**5.4.14** 扩展式基础底部有垫层时,钢筋保护层厚度不应小于 40mm,无垫层时不应小于 70mm,其他侧不应小于 35mm。

**5.4.15** 混凝土立柱中的纵向受力钢筋、基础中的预埋锚栓、钢立柱在混凝土基础中的锚固长度应满足锚固要求。当竖向锚固长度不满足锚固要求时,可沿水平方向弯折或增加锚板,但竖向锚固长度对于钢筋和锚栓不应小于  $20d$  ( $d$  为钢筋或锚栓直径),对于钢立柱不应小于  $3D$  ( $D$  为钢立柱管径或边长),且不应小于 300mm。当采用钢管立柱时,管内混凝土高度不宜小于 200mm。

**5.4.16** 植筋锚杆在岩石中的有效锚固深度不应小于 20 倍的锚杆筋体直径,间距和边距不宜小于 1 倍的有效锚固深度,且不应小于 150mm。岩石锚杆孔径宜取锚杆筋体直径的 3 倍,但不应小于一倍锚杆筋体直径加 50mm,锚杆嵌入稳定基岩中的深度应大于 40 倍锚杆筋体直径,间距不宜小于锚杆孔径的 6 倍。锚杆筋体锚入混凝土承台的锚固长度应符合本规范第 5.4.15 条的规定。

**5.4.17** 无特殊要求时,支架基础的顶标高宜高出地面不少于 150mm。



## 6 施 工

### 6.1 一 般 规 定

#### 6.1.1 支架基础施工应具备下列技术资料：

- 1 支架基础布置场区的岩土工程勘察报告；
- 2 支架基础施工图纸及图纸会审、设计交底记录；
- 3 支架基础工程的施工组织设计；
- 4 钢材、水泥、砂、石等原材料及其制品的合格证及质检报告；
- 5 支架基础布置场区内的地下管线、地下构筑物的调查资料；
- 6 试验性施工的有关资料及检测报告。

6.1.2 施工前应由业主单位组织设计单位、监理单位、施工单位共同参与图纸会审，会审纪要应经各方签字确认，连同施工图等作为施工依据，并应列入工程档案。

6.1.3 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制订相应的质量、进度、安全、环境等管理措施，应包括下列内容：

- 1 施工平面布置图应标明施工区段划分、施工顺序、水电路和各类临时设施的位置；

- 2 确定施工机械、配套设备及工艺流程与技术要求，提出施工交通运输方案；

- 3 施工进度计划和劳动力组织计划；

- 4 机械设备、备件、工具、材料供应计划；

- 5 保证施工质量、安全文明生产和季节性施工的技术措施。

6.1.4 支架基础工程的施工测量放线应按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的相关规定执行。定位控制点和水准点应设在不受施工影响的地方，并应采取措施妥善保护。

6.1.5 计量、测量仪表、器具应经检定合格且在有效期内，施工机

械经验收合格后方可使用,并应定期检查和保养。

**6.1.6** 施工过程记录及相关试验记录应真实、齐全。

**6.1.7** 隐蔽工程应符合下列要求:

1 隐蔽工程应包括:灌注桩灌注前的成孔质量检查,扩展式基础基槽的质量检查,混凝土浇筑前的钢筋、预埋件检查,扩展式基础回填土之前的检查等;

2 隐蔽工程隐蔽前,施工单位应根据工程质量评定验收标准进行自检,自检合格后向监理方提出验收申请;

3 应经监理工程师验收合格后方可隐蔽,隐蔽工程验收签证单应按现行行业标准《电力建设施工质量验收及评定规程》DL/T 5210 的相关要求格式进行填写。

**6.1.8** 施工过程中出现异常情况时,应停止施工,由监理或建设单位组织勘察、设计、施工单位共同分析,提出解决方案后再施工,并应形成文件资料。

**6.1.9** 开工前应结合工程自身特点,制订职业健康安全管理方案和应急预案,施工现场应建立专门的管理组织机构,组织实施管理方案,监测实施效果。

**6.1.10** 应根据工程实际情况和环境特点,制订环境保护及水土保持的措施和对策,采取永临结合、因地制宜的方式,减少施工对环境的影响。

## **6.2 桩 基 础**

**6.2.1** 桩基础的施工机具及工艺应根据桩型、规格、土层情况、地下水位等条件进行选择,并宜进行试打施工。

**6.2.2** 桩基础的施工应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《建筑地基基础施工质量验收规范》GB 50202 的相关规定,微型短桩尚应符合本规范第 6.2.3 条~第 6.2.7 条的规定。

**6.2.3** 桩基施工设备就位后应稳固,成桩过程中不得发生倾斜和偏移。

**6.2.4 预制桩施工应符合下列要求：**

- 1 预制桩应在工厂制作成型；
- 2 螺旋桩应采用旋拧钻进的方式施工，型钢桩、预制混凝土方桩、预应力混凝土管桩宜采用钳式液压振动锤压入，也可采用锤击沉桩方式施工；
- 3 预制桩施工过程中，桩身应保持竖直，不应偏心加载；
- 4 在密实的砂土和碎石土中施工螺旋桩时，如遇钻进困难可预成小孔后再旋拧，预成孔孔径不应超过桩杆直径；
- 5 桩打(压)入时应在桩顶与打(压)桩设备间加设硬木、麻袋、草垫等弹性衬垫；
- 6 桩打(压)入过程如遇贯入度剧变，桩身突然发生倾斜、位移或有严重回弹，桩顶或桩身出现裂缝、破碎、变形等情况时，应暂停打桩并分析原因，采取相应措施；
- 7 对细长型钢桩，在沉桩过程中应采取侧向约束措施。

**6.2.5 灌注桩施工应符合下列要求：**

- 1 灌注桩施工宜采用干作业成孔；
- 2 灌注桩施工中应对成孔、清孔、放置加筋体、灌注等进行全过程检查；
- 3 钻孔过程中钻杆应保持竖直稳固，位置准确；
- 4 钻进过程中应随时清理孔口积土，成孔达到设计深度后孔口应及时保护，混凝土灌注前应再次量测孔深，孔内虚土厚度不应超过 20mm；
- 5 灌注桩成孔质量检查合格后，应尽快灌注混凝土(或水泥砂浆)，每根桩宜一次灌注完毕，并随即振捣密实。

**6.2.6 桩基础施工允许偏差应符合表 6.2.6 的规定。**

**表 6.2.6 桩基础施工允许偏差(mm)**

| 项 目 名 称 | 允 许 偏 差 |
|---------|---------|
| 桩位放线    | ±10     |

续表 6.2.6

| 项 目 名 称              |        |       | 允 许 偏 差    |
|----------------------|--------|-------|------------|
| 桩顶标高(不具备支架安装高度可调节功能) |        |       | 0, -10     |
| 桩位                   |        |       | ±30        |
| 桩径(截面尺寸)             | 灌注桩    |       | ±10        |
|                      | 混凝土预制桩 |       | ±5         |
|                      | 钢 桩    | 钢管或型钢 | ±0.5%外径或边长 |
|                      |        | 钢板切割  | ±2         |
| 桩长                   | 灌注桩    |       | +100, 0    |
|                      | 混凝土预制桩 |       | ±10        |
|                      | 钢 桩    |       | ±10        |
| 垂直度                  | 每米     |       | 10         |
|                      | 全高     |       | 20         |

注:若上部支架安装具有高度可调节功能,桩顶标高偏差可根据可调节范围放宽。

**6.2.7** 灌注桩中钢筋笼的加工允许偏差应符合本规范表 6.3.4 的要求,预埋板(预埋螺栓)的偏差应符合本规范表 6.3.6 的规定。

### 6.3 扩展式基础

**6.3.1** 扩展式基础施工前应进行基槽验收,检验开挖揭露的地基条件与勘察报告和设计文件是否一致,基槽开挖位置、平面尺寸、基底标高是否符合设计文件要求。基槽验收合格后应立即进行垫层混凝土浇筑或采取覆盖保护措施。

**6.3.2** 扩展式基础的施工除应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定外,尚应符合下列要求:

1 混凝土浇筑时应防止离析,并应振捣密实,浇筑完毕后应及时采取有效养护措施;

2 同一基础混凝土浇筑时,宜一次浇筑完成,混凝土浇筑间歇时间不应超过混凝土的初凝时间;超过混凝土初凝时间的

应做施工缝处理,施工缝应留在结构受力较小且便于施工的部位;

3 预制混凝土基础的安装应在混凝土垫层初凝前完成;

4 基础拆模后,应对外观质量和尺寸偏差进行检查,并及时对缺陷进行处理;

5 混凝土养护达到 50% 的强度后方可安装上部支架,当采用焊接工艺时,养护达到 70% 的强度后方可施工。

#### 6.3.3 现浇混凝土基础的养护应符合下列规定:

1 应在浇筑完毕后的 12h 内采取保湿养护措施,可采取浇水养护或是覆盖养护;

2 浇水养护时间不得小于 7d,浇水次数应能保持混凝土处于湿润状态;

3 采用塑料布覆盖养护时,混凝土敞露的全部表面应覆盖严密,并应保持塑料布内有凝结水;

4 冬期施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的相关规定,严寒地区进行冬期施工需经充分论证并有可靠的施工经验。

#### 6.3.4 扩展式基础中钢筋工程的尺寸允许偏差应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 钢筋工程的尺寸允许偏差(mm)

| 项 目 名 称         | 允 许 偏 差 |
|-----------------|---------|
| 受力钢筋沿长度方向全长的净尺寸 | ±10     |
| 箍筋内净尺寸          | ±5      |
| 受力钢筋绑扎间距        | ±10     |
| 箍筋绑扎间距          | ±20     |
| 钢筋网网眼尺寸         | ±20     |
| 保护层厚度           | ±10     |

**6.3.5 扩展式基础的尺寸允许偏差应符合表 6.3.5 的规定。**

**表 6.3.5 扩展式基础的尺寸允许偏差 (mm)**

| 项 目 名 称 |    | 允 许 偏 差 |
|---------|----|---------|
| 轴线      |    | ±10     |
| 顶标高     |    | 0, -10  |
| 截面尺寸    |    | ±20     |
| 垂直度     | 每米 | 5       |
|         | 全高 | 10      |

- 注:1 检查轴线位置时,应沿纵横两个方向量测,并取其中的较大值;  
2 当扩展式基础采用预埋钢管与上部支架通过插接连接时,可不对基础顶标高进行验收,但应对预埋钢管的尺寸偏差进行验收。

**6.3.6 扩展式基础预埋螺栓、预埋钢板和预埋钢管的尺寸允许偏差应符合表 6.3.6 的规定。**

**表 6.3.6 预埋螺栓、预埋钢板和预埋钢管的尺寸允许偏差 (mm)**

| 项 目 名 称 |       | 允 许 偏 差     |
|---------|-------|-------------|
| 预埋螺栓    | 中心线位置 | ±5          |
|         | 中心距   | ±2          |
|         | 外露长度  | +20, 0      |
| 预埋钢板    | 中心线位置 | ±10         |
|         | 标高    | 0, -5       |
| 预埋钢管    | 中心线位置 | ±15         |
|         | 外露长度  | +20, 0      |
|         | 垂直度   | 1% <i>l</i> |

- 注:1 检查中心线位置时,应沿纵横两个方向量测,并取其中的较大值;  
2 表中“*l*”为预埋钢管长度。

**6.4 锚杆基础**

**6.4.1 锚杆基础施工前,应对岩石基面进行清理,清除表层覆土和风化破碎层,确保锚固部位的岩石完好。若有破碎和裂隙等局**

部缺陷,应避开或对局部缺陷处进行补强和加固后再施工。

#### 6.4.2 植筋锚杆的施工应符合下列要求:

1 成孔后应采用毛刷、气泵清孔,必要时应采用脱脂棉沾酒精或丙酮擦洗钻孔内壁,确保孔内灰渣清除干净,并保持孔道干燥;

2 注胶时从孔底往外注胶,边注边退,注胶应饱满,注胶量不应少于 80%,且应确保钢筋植入后孔口溢胶并应防止漏胶;

3 钻孔内注完胶后,把经除锈处理过的钢筋立即放入孔口,然后慢慢单向旋入,不可中途逆向反转,直至钢筋伸入孔底;

4 植筋胶的固化时间应按产品的技术要求确定,并不应少于 48h;

5 植筋胶固化前不得扰动钢筋,不宜在锚固钢筋上施焊或使用气焊切割。

#### 6.4.3 岩石锚杆的施工应符合下列要求:

1 锚杆筋体上宜焊接对中支架;

2 在灌注灌浆料前应将锚杆孔清理干净;

3 对于易风化的岩石,应缩短从开孔至灌注的间歇时间;

4 灌浆料应振捣密实。

6.4.4 锚杆基础的现浇混凝土承台应与基岩连成整体,施工应符合本规范第 6.3 节的规定。

6.4.5 锚杆基础的尺寸允许偏差应符合表 6.4.5 的规定。

表 6.4.5 锚杆基础的尺寸允许偏差(mm)

| 项 目 名 称 |      | 允 许 偏 差 |
|---------|------|---------|
| 中心线位置   |      | ±20     |
| 钻孔深度    | 植筋锚杆 | +10,0   |
|         | 岩石锚杆 | +20,0   |
| 孔径      | 植筋锚杆 | +2,0    |
|         | 岩石锚杆 | +10,-5  |

6.4.6 对于废孔,应用锚固胶或高强度等级的水泥砂浆、细石混凝土填实。

## 7 质量检验与验收

### 7.1 质量检验

**7.1.1** 支架基础施工应进行全过程检查,基础工程施工结束后应进行验收,经验收合格后方可进行后续工程施工。

**7.1.2** 基础工程中使用的原材料和成品桩(构件)在使用前应进行质量检验。现场拌制混凝土首次使用前应进行配合比试验,施工用水应满足现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的相关规定。

**7.1.3** 为设计提供依据的试验应在设计前进行,同一地质条件中的同一试验项目不应少于 3 点,基桩载荷试验、锚杆的抗拔试验及平板载荷试验等应加载至破坏或设计要求值。验收检验时,竖向承载力载荷试验最大加载量不应小于承载力特征值的 2 倍,水平承载力载荷试验最大加载量不应小于设计要求值。基桩、锚杆的承载力载荷试验检测,宜在施工结束后间隔一个间歇期后进行。

**7.1.4** 地基、基础质量检验的抽检位置应按下列情况综合确定:

- 1 施工出现异常情况的部位;
- 2 设计认为重要的部位;
- 3 局部岩土特性复杂可能影响工程质量的部位;
- 4 同类地基、基础的抽检位置宜均匀分布。

**7.1.5** 现浇混凝土、砂浆应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求制作试件进行强度检验,试件应分别进行标准养护和同条件养护。

**7.1.6** 基槽开挖完成后,应进行基槽检验。当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致或遇到异常情况时,应结合实际情况提出处理意见。



**7.1.7** 在压实填土的施工过程中,应采用环刀法、灌砂法、灌水法或其他方法分层检验填土的压实系数。填土面积  $1000\text{m}^2$  以上的每  $100\text{m}^2$  至少应有一个检验点,填土面积  $3000\text{m}^2$  以上的每  $300\text{m}^2$  至少应有一个检验点,且每单位工程不应少于 3 点。

**7.1.8** 桩基础质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定,微型短桩的质量检验尚应符合下列要求:

1 应提供经确认的施工过程有关参数,包括施工监控监测数据、原材料的力学性能检验报告、混凝土抗压强度试验报告、加筋体的制作质量检查报告、成品桩(构件)的质量检查报告;

2 工程桩施工完成后应进行桩位偏差和桩顶标高的检验,灌注桩尚应进行桩径偏差检验;

3 工程桩应进行竖向抗压、抗拔和水平承载力检验,对灌注桩的成桩质量有怀疑时,尚应进行桩身质量检验;

4 工程桩承载力的抽检数量不得少于总桩数的 1%,且不应少于 6 根,当遇到地层局部明显软弱时,应适当增加抽检数量。承载力检测宜采用慢速维持荷载法,当有成熟的地区经验时,也可采用快速维持荷载法;

5 工程桩水平承载力检测应考虑桩顶弯矩的作用,且宜考虑支架刚度对桩基础水平承载力的影响。

**7.1.9** 扩展式基础应进行外形尺寸、位置偏差检验。

**7.1.10** 锚杆基础施工结束后应进行施工尺寸偏差和抗拔承载力检验。抗拔承载力的抽检数量不应少于总锚杆根数的 0.5%,且不应少于 6 根。检测方法可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定。

**7.1.11** 当检验发现地基处理效果、桩身质量、桩或锚杆承载力不满足设计要求时,应结合工程场地地质和施工情况综合分析,扩大检验数量,提出处理意见。

## 7.2 工程验收

**7.2.1** 支架基础工程应划分为分项工程和检验批按分部工程进行验收,并应按本规范附录 A 表 A.0.1~表 A.0.3 记录。当工程较大或较复杂时,可按基础类型、地质条件、材料种类等划分若干个子分部工程进行验收。

**7.2.2** 检验批及分项工程应由监理工程师(或建设单位项目技术负责人)组织施工单位项目专业质量(技术)负责人等进行验收。

**7.2.3** 检验批可根据施工及质量控制和专业验收的需要按施工段、方阵等进行划分。检验批质量应按主控项目和一般项目进行验收,检验批质量验收合格应符合下列要求:

1 主控项目必须符合验收标准规定,发现问题应立即处理直至符合要求;

2 一般项目应有 80% 及以上的检查点符合要求,其余的检查点不应有严重的缺陷;

3 具有完整的施工操作依据、质量检查记录。

**7.2.4** 分项工程可按主要工种、材料、施工工艺等进行划分,可由一个或若干检验批组成。分项工程质量验收合格应符合下列要求:

1 分项工程所含的检验批均应符合合格质量的规定;

2 分项工程所含的检验批的质量验收记录应完整。

**7.2.5** 分部(子分部)工程的验收,应在分项工程验收合格的基础上进行。施工单位确认自检合格后提出申请,并应按本规范第 7.2.6 条的要求提交相关文件和资料,由总监理工程师或建设单位项目负责人组织勘察单位、设计单位及施工单位的项目负责人、技术质量负责人进行验收。

**7.2.6** 支架基础工程验收时应提供下列技术文件和资料:

1 岩土工程勘察报告、支架基础施工图、图纸会审记录、设计变更等;

- 2 原材料的质量合格证和质量鉴定文件；
  - 3 半成品如钢桩、预制桩、加筋体等产品合格证书；
  - 4 施工记录及隐蔽工程验收文件；
  - 5 检验批和分项工程验收文件；
  - 6 检测试验及见证取样文件；
  - 7 其他必须提供的文件和记录。
- 7.2.7 支架基础工程质量验收合格应符合下列规定：
- 1 所含分项工程的质量均应验收合格；
  - 2 质量控制资料应完整；
  - 3 原材料复试、载荷试验等有关安全及功能的检验和抽样检测结果应符合设计和有关标准的要求；
  - 4 观感质量验收应符合要求。
- 7.2.8 通过返修或加固仍不能满足安全使用要求的支架基础工程,不应通过验收。

附录 A 支架基础质量验收记录

A.0.1 检验批质量验收应按表 A.0.1 记录。

表 A.0.1 检验批质量验收记录

编号：

|                    |   |                               |                |  |       |  |
|--------------------|---|-------------------------------|----------------|--|-------|--|
| 单位(子单位)            |   |                               | 分部(子分部)        |  |       |  |
| 工程名称               |   |                               | 工程名称           |  |       |  |
| 分项工程名称             |   |                               | 验收部位           |  |       |  |
| 施工单位               |   |                               | 项目经理           |  |       |  |
| 施工执行标准<br>名称及编号    |   |                               | 专业工长<br>(施工员)  |  |       |  |
| 分包单位               |   |                               | 分包项目经理         |  | 施工班组长 |  |
| 施工质量验收规范的规定        |   |                               | 监理单位(建设)单位验收记录 |  |       |  |
| 主控项目               | 1 |                               |                |  |       |  |
|                    | 2 |                               |                |  |       |  |
|                    | 3 |                               |                |  |       |  |
|                    | 4 |                               |                |  |       |  |
|                    | 5 |                               |                |  |       |  |
| 一般项目               | 1 |                               |                |  |       |  |
|                    | 2 |                               |                |  |       |  |
|                    | 3 |                               |                |  |       |  |
|                    | 4 |                               |                |  |       |  |
|                    | 5 |                               |                |  |       |  |
| 施工单位<br>检查结论       |   | 项目专业质量检查员：项目专业质量(技术)负责人：年 月 日 |                |  |       |  |
| 监理单位(建设)单位<br>验收结论 |   | 专业监理工程师：(建设单位项目专业技术负责人)年 月 日  |                |  |       |  |

A.0.2 分项工程质量验收应按表 A.0.2 记录。

表 A.0.2 分项工程质量验收记录

编号：

|                  |           |   |  |              |  |
|------------------|-----------|---|--|--------------|--|
| 单位(子单位)<br>工程名称  |           | 分部(子分部)<br>工程名称   |  | 检验批数         |  |
| 施工单位             |           | 项目经理  |  | 项目技术<br>负责人  |  |
| 分包单位             |           | 分包单位<br>负责人   |  | 分包<br>项目经理   |  |
| 序号               | 检验批及部位、区段 | 施工单位检查结果  |  | 监理(建设)单位验收结果 |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
|                  |           |   |  |              |  |
| 备注               |           |   |  |              |  |
| 施工单位<br>检查结论     |           | 项目专业质量      项目专业质量<br>检查员：      (技术)负责人：      年   月   日 |  |              |  |
| 监理(建设)单位<br>验收结论 |           | 专业监理工程师：<br>(建设单位项目专业技术负责人)      年   月   日              |  |              |  |

**A.0.3** 分部(子分部)工程质量验收应按表 A.0.3 记录。

**表 A.0.3** \_\_\_\_\_ 分部(子分部)工程质量验收记录

编号：

|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|---------------|--------|-------|-------------|----------|--|--------------|--|-------|
| 单位(子单位)工程名称   |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 施工单位          |        |       | 技术部门<br>负责人 |          |  | 质量部门<br>负责人  |  |       |
| 分包单位          |        |       | 分包单位<br>负责人 |          |  | 分包技术<br>负责人  |  |       |
| 序号            | 分项工程名称 |       | 检验批数        | 施工单位检查结果 |  | 监理(建设)单位验收意见 |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
|               |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 质量控制资料        |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 安全和功能检验(检测)报告 |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 观感质量验收(综合评价)  |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 验收结论          |        |       |             |          |  |              |  |       |
| 监理(建设)单位：     |        | 设计单位： |             | 勘察单位：    |  | 施工单位：        |  | 分包单位： |
| 年 月 日         |        | 年 月 日 |             | 年 月 日    |  | 年 月 日        |  | 年 月 日 |

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025
- 《工程测量规范》GB 50026
- 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 《建筑地基基础施工质量验收规范》GB 50202
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 《光伏电站设计规范》GB 50797
- 《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104
- 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118
- 《电力建设施工质量验收及评定规程》DL/T 5210



中华人民共和国国家标准

# 太阳能发电站支架基础技术规范

**GB 51101 - 2016**

条文说明

## 制 订 说 明

《太阳能发电站支架基础技术规范》GB 51101—2016,经住房和城乡建设部 2016 年 4 月 15 日以第 1102 号公告批准发布。

本规范在制订过程中,编制组进行了广泛、深入的调查研究,总结了我国在太阳能发电站建设中的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《太阳能发电站支架基础技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明。对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

## 目 次

|     |                 |        |
|-----|-----------------|--------|
| 1   | 总 则 .....       | ( 55 ) |
| 2   | 术语和符号 .....     | ( 56 ) |
| 2.1 | 术语 .....        | ( 56 ) |
| 3   | 基本规定 .....      | ( 58 ) |
| 4   | 场地评价与岩土勘察 ..... | ( 61 ) |
| 4.1 | 场地评价 .....      | ( 61 ) |
| 4.2 | 岩土勘察 .....      | ( 61 ) |
| 5   | 设 计 .....       | ( 64 ) |
| 5.1 | 一般规定 .....      | ( 64 ) |
| 5.2 | 基础分类与选型 .....   | ( 66 ) |
| 5.3 | 基础设计 .....      | ( 67 ) |
| 5.4 | 构造规定 .....      | ( 74 ) |
| 6   | 施 工 .....       | ( 79 ) |
| 6.1 | 一般规定 .....      | ( 79 ) |
| 6.2 | 桩基础 .....       | ( 80 ) |
| 6.3 | 扩展式基础 .....     | ( 81 ) |
| 6.4 | 锚杆基础 .....      | ( 81 ) |
| 7   | 质量检验与验收 .....   | ( 83 ) |
| 7.1 | 质量检验 .....      | ( 83 ) |
| 7.2 | 工程验收 .....      | ( 84 ) |

# 1 总 则

**1.0.1** 本条明确了制定本规范的目的和指导思想。利用太阳能进行发电是利用清洁能源,保护环境的一项人类活动,因此太阳能发电站的建设应注重保护环境和节约资源,否则将适得其反。

**1.0.2** 本规范的适用对象为光伏和光热两类地面太阳能发电站中支撑、固定光伏组件、聚光集热器、定日镜等的支架的基础,这类基础具有承受的荷载相对较小但数量众多的特点。电站内其他建(构)筑物基础的技术要求应按现行国家和行业相关标准,如《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等规范执行。

**1.0.3** 支架结构形式的不同,如是双立柱还是单立柱,使用功能的不同,如其支撑的是光伏组件还是聚光槽,均对基础提出不同的使用要求,在确定设计指标时需区别对待。上部结构所承受的荷载特征、工程所在地的地质条件、水电供应、设备材料运输等施工条件与工期要求也是制约设计方案选型的重要因素。我国适用于建设太阳能发电站的地区分布较广,各地的气象、地质条件、生产力技术水平相差较大,因此必须强调注重地方经验、因地制宜。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.4** 扩展式基础典型的型式包括独立基础和条形基础。

**2.1.5** 太阳能发电站支架基础工程中的单桩基础大多数不设置承台,而是与立柱通过插接、法兰盘、预埋件等方式直接连接,或是桩基础与立柱成一体,如型钢桩、混凝土预制桩等。

**2.1.6** 根据工程中的实际应用情况,本规范包括两类岩石地基中的锚杆基础,一类是植筋锚杆基础,指的是采用类似混凝土植筋工艺施工,在岩石中成小孔并灌注胶粘剂锚固的锚杆;另一类是岩石锚杆基础,指的是采用凿岩设备成孔,孔径一般在 60mm~150mm 之间,灌注砂浆或细石混凝土锚固的锚杆。

**2.1.7** 我国这几年光伏发电工程项目中应用较多直径较小、长度较短的桩基础,包括螺旋桩和灌注桩。螺旋桩桩杆直径一般为 76mm,叶片直径多在 200mm 左右,灌注桩直径多为 150mm~300mm,桩长一般不超过 5m,这类桩的承载力性能、构造要求、检测方法同常规直径、长度的桩相比有其特殊性,本规范将其界定为微型短桩。现行相关标准规范对微型桩的定义不太一致:现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 把直径小于或等于 250mm 的桩称为小直径桩;现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 把桩身截面尺寸小于或等于 300mm 的桩纳入微型桩的范围;现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 规定树根桩的直径宜为 150mm~400mm;欧洲标准(BS EN14199:2005)把直径小于 300mm 的钻孔灌注桩和直径不大于 150mm 的打入桩定义为微型桩。结合上述规范的规定以及工程中的实际应用情况,本规范将微型短桩界定为桩径或边长小于或等于 300mm,桩

长小于或等于 5m 的桩。

**2.1.8 螺旋桩**起源于十九世纪英国,由于其施工不受季节影响、无须土方开挖、钻孔,施工后无须养护,在国外已被广泛应用于港口、桥梁、管线、房建等建设领域,在国内近几年已在光伏电站工程中被广泛应用。螺旋桩的施工方式为通过在桩顶施加扭矩,靠螺旋叶片与土体的咬合而旋拧钻入土中。

## 3 基本规定

**3.0.1** 岩土工程条件和上部支架结构对基础的要求是基础设计前应取得的基本资料,场区的运输条件、材料供应、施工季节、工期要求等也会影响基础设计方案的选择。另外,支架基础的设计宜借鉴附近类似工程地质条件下以往工程的经验,有条件时应收集相关资料。

**3.0.3** 本条为强制性条文,必须严格执行。条文中明确了支架基础设计安全等级的确定原则,并区分光伏和光热发电站对支架基础的结构重要性系数进行了规定。支架基础起到支撑上部支架的作用,因此其设计安全等级不应小于上部支架结构的设计安全等级。根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定,支架基础的设计等级按照基础设计的复杂性和技术难度确定,并应考虑由于地基基础问题对支架结构及其附着物的安全和正常使用可能造成影响的严重程度等因素。由于光伏电站的支架结构较为简单,荷载明确,其基础设计的难度一般不大,且由于地基基础的问题对支架结构的安全性和正常使用不致造成严重后果,因此无特殊要求时可将光伏电站支架基础的设计安全等级确定为丙级,这与现行国家标准《光伏电站设计规范》GB 50797 规定光伏支架的安全等级为三级是相适应的。对于特殊的光伏发电站支架基础以及光热发电站支架基础,其设计安全等级应根据实际情况另行确定。

**3.0.4** 现行国家标准《光伏电站设计规范》GB 50797 规定,一般光伏组件支架的设计使用年限为 25 年,相应的本规范规定光伏支架基础的设计使用年限不应小于 25 年。对于采用特殊光伏组件的以及太阳能光热发电站支架基础的设计使用年限应根据电站

的设计使用年限确定。

**3.0.5** 本条从环境保护和水土保持的角度对支架基础的设计和施工提出要求。土石方的挖填是太阳能发电站建设中最重要潜在环境影响因素之一,应减少土石方工程的施工。地表植被和表层土对防止水土流失和防风固沙起着至关重要的作用,西北戈壁地区的表层一般分布有一层板结状态的土,是经过多年物理、化学、生物作用形成的,一旦被破坏,恢复相当困难,应注重保护。一般太阳能发电站支架设计使用年限较短,支架基础的设计和施工应着眼于电站的全寿命周期,不但要考虑建设期对环境的保护,还要考虑可能给运营期带来的不良影响,考虑运营期结束后场地恢复再利用的需要,包括场地恢复的技术难度、经济成本、环境代价等。

**3.0.6** 规范鼓励采用新技术、新工艺、新材料与现行国家标准《光伏发电站设计规范》GB 50797 的原则是一致的。通过采用新技术、新工艺和新材料等技术进步的手段可以更好地实现对环境的保护,提高施工效率,缩短施工工期,解决特殊地形、地质条件下基础施工困难等难题。在太阳能发电站中采用常规的基础形式,如混凝土扩展式基础,存在以下三方面的不利因素:①无论是混凝土材料的生产还是施工过程中的土方开挖,都不可避免地对环境造成大量的破坏,在一些生态脆弱地区甚至会影响生态的恢复;②现浇混凝土基础施工工序多,需养护,不利于施工质量和工期的控制;③电站运营期结束之后进行场地恢复时的二次开挖和废弃混凝土基础的处理势必会增加额外的环境 and 经济代价。因此在太阳能发电站项目中应尽可能地减少混凝土基础的使用。螺旋桩和打(压)入式型钢桩的施工无须开挖土方,无须养护,具有绿色环保、施工便捷的特点,场地恢复时只需反向拧出或拔出即可,不会对环境造成破坏,且废旧钢材仍具有可观的回收价值,因此特别适用于作为太阳能发电站支架的基础。近年来,国内光伏发电站中已广泛采用螺旋桩基础,积累了大量的工程经验,取得了很好的经济和



社会效益。打(压)入式型钢桩,可以做到立柱与基础一体化,施工更为便捷,占地更小,结构性能也更优,在国外已被广泛采用,具有很好的推广价值。

**3.0.7** 基础工程涉及岩土工程的范畴,应遵循理论导向的指导原则,但又不能单纯依靠理论计算,工程实践经验或工程实体试验资料是非常重要的。因此,本条规定,对于桩基础和锚杆基础,正式施工前宜进行现场试验。本条所提的“现场试验”是指现场实体性的试验,即尺寸与工程原型基本相同的试验,不是指常规勘察中的原位测试。由于太阳能发电站一般占地面积较大,场区内的岩土工程条件可能存在较大的区别,因此现场试验的地点应具有代表性。

**3.0.8** 规定支架基础结构用混凝土强度等级不应低于 C25,是根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 规定设计使用年限为 30 年的满足耐久性要求的混凝土最低强度等级为 C25 的要求确定的。

**3.0.9** 支架基础结构采用的原材料和成品构件在进场时均应按现行国家、行业相关标准和本规范的要求进行验收,以防止不合格材料混入工程建设中。为防止已经验收合格的建筑材料在仓储过程中发生性能改变,需要根据建筑材料的性质来确定防雨、防潮、防刮、防撞、防锈措施。

## 4 场地评价与岩土勘察

### 4.1 场地评价

**4.1.1** 主要从地形地貌、场地地层的均匀性、特殊性岩土、不良地质作用、地下水位几方面将场地的复杂程度划分为三类。“不良地质作用”指泥石流、崩塌、滑坡、土洞、坍塌、岸边冲刷、地下水强烈潜蚀、地震断裂带等可能对工程造成危害的地质作用。

**4.1.2~4.1.6** 支架基础设计前,应对场地的适宜性进行分析认定,根据不良地质作用的发生概率、地质灾害的危害程度采取避让、防范措施,对存在特殊性岩土的地段应判断地基处理的必要性,并综合考虑技术、经济、工期因素选择适宜的地基处理手段和支架基础型式。对可能受洪水等地表水影响的场地,应采取防洪措施以避免自然因素导致场地设计条件的改变。山区中的一些冲沟、沟壑等是自然形成的排水通道,应尽量予以保护和利用,如在场地平整时被破坏且未合理布置排水系统,地表水和地下水可能会对场地的稳定性造成破坏性影响。对于场地因风沙等因素导致场地地表标高存在改变可能性的地段,应充分评估场地地表标高改变对支架基础承载力性能和稳定性的影响,对存在危害可能性的情况应采取措施进行防范。国内某些电站已发生风吹基础外露的情况,对此必须引起重视。

### 4.2 岩土勘察

**4.2.1** 先勘察、后设计、再施工,是工程建设必须遵守的程序,是国家一再强调的十分重要的基本政策。本规范主要根据太阳能发电站支架结构和建设场地的特点规定了岩土工程勘察的主要内容、勘探点的间距和深度、勘察报告应提供的资料等内容。本规范

未作规定的,应按相关的其他技术标准执行。

**4.2.2、4.2.3** 这两条对支架基础布置场区的岩土工程勘察,在原则上规定了应做的工作和应有的深度。岩土工程勘察应有明确的针对性,因此应收集电站设计的相关资料,了解相关要求。根据项目实施进度的不同,岩土工程勘察的工作内容和深度可以不同,但应满足相应设计阶段的需要,条文中的要求是电站建设全过程的内容。

**4.2.5** 支架场区的勘探深度一般不深,可采用钻探和开挖探坑、探槽相结合的方式进行的勘探,以节省工程造价。静力触探是软土地区常用的勘探手段,但单纯的触探由于其多解性容易造成误判,如以触探作为主要勘探手段,除非有经验的地区,一般均应有一定数量的钻孔配合。

**4.2.7** 勘探点在整个支架布置场区内均匀布置,对于戈壁、滩涂等相对平整的场地往往容易满足工程需要,但对于山地项目,由于山顶、山坡、坡前地的表层岩土分布不均,勘探点的布置应根据实际情况进行调整、加密,涵盖各类地貌、地质单元。

**4.2.8** 本条中的勘探孔深度要求不适合特殊性土和不良地质作用的勘探,此时应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的要求执行。对存在场地平整的情况,勘探点的深度应满足开挖施工的需要。在执行本条第5款规定时,为防止误将孤石判为基岩或是防止基岩浅层内存在孔洞,规定最小勘探深度不应小于3m。

**4.2.9** 调研发现,有较多以往项目的勘察报告针对性不强,缺乏必要的数据,主要问题有:由于支架基础一般承受的荷载较小,浅层土是主要的受影响土层,而往往勘察报告对浅层土给出的数据匮乏;仅给出了扩展式基础的设计参数,影响基础选型设计;水、土的腐蚀性评价缺少对钢结构的评价,不满足设计需要;对于季节性冻土,未对土的冻胀性做出评价并给出相关计算参数等。本条对支架布置场区的岩土工程勘察报告所应提供的资料作出规定,除

应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《光伏电站设计规范》GB 50797 的要求外,还针对太阳能发电站支架基础的特点强调了对浅层土的勘察、桩基设计参数的提供、土对钢结构的腐蚀性评价和季节性冻土区域地基土冻胀性的评价。

**4.2.10** 在我国太阳能资源丰富的西部地区,盐渍土分布广泛,典型的有新疆库尔勒和青海格尔木,土壤属于强碱性环境。根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定,当 pH 值大于 5.5 时,土对钢结构的腐蚀性评价等级为微,而实际情况是,这些地区的土壤对钢结构的腐蚀性较强。国外有很多的研究资料也指出,在强碱性环境中土壤对钢结构是有腐蚀性的。例如美国的 Chance 公司指出 pH 值小于 4.5 或是大于 9.1 的土壤对钢结构的腐蚀性较强;美国联邦高速公路管理局的研究报告(FHWA-RD-89-198)也指出当 pH 值超过 10 或是小于 5 时,土壤具有较强的腐蚀性。因此当土壤环境为碱性环境,尤其是当 pH 大于 9.5 的强碱性环境时,应注意土对钢结构的腐蚀性评价,应综合考虑土的含盐量、导电性、含氧量、湿度、土中细菌、杂散电流等因素,采用多指标进行判断。现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 中评价土对钢筋混凝土中的钢筋的腐蚀性和钢结构的腐蚀性所用的指标不一致,如出现对钢结构的腐蚀性评价等级低于对混凝土结构中的钢筋的腐蚀性评价等级的情况,应根据工程需要,对土对钢结构的腐蚀性评价进行专项论证。

## 5 设 计

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 本条为强制性条文,必须严格执行。为确保支架基础的安全,必须进行必要的承载力和稳定性的验算。太阳能发电站支架基础所承受的荷载一般不大,如常规光伏电站固定式支架结构,每个基础承受的竖向荷载在 10kN 左右[对诺斯曼能源科技(北京)股份有限公司近 4 年实施的约 100 个光伏电站项目进行统计,支架基础承受的竖向荷载标准值范围在 6.3kN~14.8kN 之间],因此基础的结构承载力往往能满足要求,无须验算。但对于大型跟踪式系统或其他承受较大荷载的支架基础或是承受较大施工荷载的基础,则需要根据具体情况对基础结构强度进行验算。

**5.1.2** 一般支架基础设计等级可划分为丙级,按照承载能力极限状态进行设计即可满足要求。调研发现一些软土地层中的支架基础在使用过程中出现了较大的沉降,影响支架使用,因此本条规定对于持力层为软土的情况应进行变形验算,同时规定了对于可能产生过大不均匀沉降,或是上部支架变形限值较小的情况应进行变形验算。

**5.1.3** 现行国家标准《光伏电站设计规范》GB 50797 规定除永久荷载外,对于支架结构还应考虑风荷载、雪荷载、温度荷载、地震荷载和检修荷载,考虑到温度荷载对支架基础的承载力影响不大,因此本规范对支架基础的计算未考虑温度荷载的作用。根据现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的相关规定,本规范未对地基基础的抗震验算作出强制性规定,设计时可根据抗震设防等级、场地条件、支架结构特点对抗震验算的必要性进行判别。对各作用效应组合和相应抗力限值的规定主要参考了现行国家标准

《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 在计算地基变形时,未考虑风荷载,考虑到风荷载是支架结构承受的主要荷载,在验算支架基础的变形时,应计入,且采用荷载作用的标准组合。

**5.1.4** 本条根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定,对支架基础设计计算采用的荷载组合进行了规定。根据支架结构的特点,地震作用仅考虑了水平地震作用,在计算水平地震作用时,重力荷载代表值应取支架结构及其附着物自重和雪荷载的组合值之和。根据现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的规定,除高耸结构外,一般的支架基础的抗震验算不考虑风荷载的作用。

**5.1.5** 现行国家标准《光伏电站设计规范》GB 50797 规定光伏支架的风荷载、雪荷载取重现期为 25 年的数值,对于光伏支架基础的设计本规范沿用这一规定。对于重现期为 25 年的基本雪压和基本风压值可按下式计算:

$$x_{25} = 0.6x_{10} + 0.4x_{100} \quad (1)$$

式中:  $x_{25}$  ——重现期为 25 年的基本雪压和基本风压值;

$x_{10}$ 、 $x_{100}$  ——重现期分别为 10 年和 100 年的雪压和风压值,可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 采用。

**5.1.6** 对于湿陷性土、季节性冻土、膨胀土等特殊性地场地,应区分光伏、光热电站,区分支架的使用功能要求,评估自然条件的变化,考虑维修成本的高低,根据相关的专业规范,采取不同的地基处理方案或是结构措施,对于复杂的情况应进行专项论证确定。对于湿陷性土场地,在按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 确定支架基础设计等级时,可按照固定式光伏电站支架基础设计等级偏低,槽式、菲涅尔式光热电站支架基础设计等级偏高的原则进行。

## 5.2 基础分类与选型

**5.2.1** 支架基础可按多种标准进行分类,比如可按材料分为钢材基础、混凝土基础等,可按施工工艺分为预制基础、现浇基础等,条文中是按承载性状进行分类的。

**5.2.3** 采用独立基础时,在确保基础自身结构承载力满足要求的前提下,可根据需要采用无筋或是配筋扩展式基础。为确保条形基础的整体性,提高其自身的抗弯承载力,减小截面尺寸,条形基础应采用配筋扩展式基础。

**5.2.4** 支架结构形式和所承受荷载的特征是支架基础选型应满足的内在要求,土的性状及地下水条件是应考虑的外在条件,这是基础选型时应考虑的两个最基本因素。太阳能发电站一般占地广,支架基础数量众多,而且一般工期较短,应优先采用快捷方便的施工工艺,优先采用预制桩基础。支架基础选型时对经济指标、环保性能的分析应综合考虑电站的全寿命周期,包括电站停止运营时场地恢复的成本以及对环境可能造成的影响。

**5.2.5** 条文中对各类岩土条件下支架基础类型的选择的规定主要是从技术可行、环境保护的角度进行要求的。由于太阳能发电站支架布置场区一般较大,如地下水影响基础施工,采取降水措施会造成工程造价的大幅增加,对于此类场地不建议采用扩展式基础。同样的对于灌注桩,如地下水高于桩端埋深,会影响成孔施工、混凝土浇筑,在增加施工成本的同时留下质量隐患,因此也不建议此类场地采用灌注桩。目前光伏电站工程中的灌注桩基本都是采用干成孔的施工工艺,因此场地的土层需满足成孔过程中不缩径、不塌孔的条件,在软土地层和松散的砂土、碎石土中不易成孔,因此此类场地不宜采用灌注桩。但如果可以采用护筒等护壁施工工艺,在上述地层中也是可以施工灌注桩的。现浇混凝土基础,无论是扩展式基础还是桩基础,在寒冷、严寒地区冬季施工由于养护的问题不宜采用。在密实的砂土、碎石土中施工压(击)

入式预制桩,如混凝土预制方桩、预应力混凝土管桩等,一方面难以施工,另一方面存在施工阻力大易造成桩体损坏的风险,因此不适合使用。螺旋桩在密实的砂土、碎石土中直接旋拧施工也会存在施工阻力大易造成桩体损坏的风险,但通过“引孔旋拧”的施工工艺可以解决这个问题,在我国西北戈壁地区有大量的成功施工案例,因此本规范未对上述地层中螺旋桩的应用作出限制。但对于含大量漂石、块石的地层,通过“引孔旋拧”的施工工艺仍不能解决螺旋桩施工难以钻进的问题,且坚硬的岩石对钢桩的镀锌层磨损严重,因此不应采用。岩石地层中采用锚杆基础必须确保基岩基本完好,且具有较大体量,能承担对支架基础的锚固和全部荷载。对于结构大部分破坏、裂隙发育的岩石不应采用锚杆基础。

**5.2.6** 本条规定同一阵列支架基础宜采用同类型的基础形式是从控制基础均匀变形和考虑施工组织的便利性的角度提出的。

**5.2.7** 对于传至桩基础顶面水平荷载或弯矩较大的情况,如单立柱支架,虽然可以通过增加桩基础截面和桩长来提高单桩承载力,但往往不是很经济。通过在桩顶处加设混凝土护墩或侧向支撑,可对桩顶形成一定的约束,同时加设混凝土护墩还增加了桩顶处与桩侧土体的接触面积,可以显著地增加桩基础的抗水平和抗弯承载能力。

### **5.3 基础设计**

**5.3.1** 从控制基础沉降变形的角度,本条对支架基础的地基持力层提出了要求。在电站建设中不可避免地会因为场地平整或是为了节约用地而涉及填土地基,设计时应根据填土的性质、堆填年限、现场条件等因素提出具体的处理方案。对于杂填土和耕土,由于其成分不均,常含有有机质,未经处理时,均为欠固结土,不能作为支架基础的地基持力层;对于未经处理的新近填土层,由于其自重固结一般未完成,也不应作为支架基础的地基持力层;对于堆填时间较长的填土,其自重固结一般已完成,经过检验查明符合设计



要求的可作为地基持力层;对于场地平整形成的回填土应按设计要求分层进行处理,并经检验合格后方可作为地基持力层。

**5.3.2** 本条对填土地基的填料及施工质量作出了规定。由于耕土、冻土、膨胀土以及有机质含量大于5%的土,其土质性能不稳定,不能作为填料。采用砂、碎石作为填料的,为保证碾压密实,应保证级配良好,并限制其最大粒径。从后续基础施工便利的角度,回填碎石的粒径也不宜过大。采用粉质黏土、粉土作为填料时,含水量对压实质量的影响至关重要。在一定的压实功下,填料在最优含水量时,干密度可达最大值,压实效果最好。填料的含水量太大时,应将其适当晾干处理,含水量过小时,则应将其适当增湿。

**5.3.3** 当利用填筑塘、沟、积水洼地等作为建设场地时,应注意两方面的问题:塘底、沟底原有软弱土层的处理和排水设计。塘、沟、积水洼地底部一般分布有软弱淤泥,压缩性高,排水性差,在上部填土的作用下产生的固结压缩沉降量往往较大,如处理不当会造成地基的整体沉降。填方设计应根据底层软弱土体的分布范围、厚度、周边地形条件采取清淤、地基处理等合适的处理方法。当填土阻碍原地下水 and 地表水的畅通排泄时,应尽可能在排水层采用粗颗粒填料并根据地形修筑盲沟、截水沟或其他排水设施,以防止土颗粒流失造成场地失稳。

**5.3.4、5.3.5** 对于锚杆基础,基底持力层为中风化~未风化的岩石,抗压承载力一般都会满足要求,只需考虑抗拔承载力。

**5.3.6** 现行国家行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 给出了桩基础各类承载力的确定方法,除微型短桩外,本标准所涵盖的所有桩型的承载力的确定均应按此标准执行。太阳能发电站支架基础所涉及的桩基础,大多数为微型短桩,在使用桩基规范时存在两方面的问题:①缺乏短桩的经验参数;②缺乏如螺旋桩等新型桩基的计算方法。本规范对微型短桩的计算作出了相应的补充规定。条文中强调“微型短桩的承载力应通过单桩静载荷试验确定”,是基于以下两方面的考虑:①在目前对于桩基础承载力的计算受土强

度参数、成桩工艺、计算模式不确定性影响的可靠度分析仍处于探索阶段的情况下,桩基础承载力仍以原位原型试验为最可靠的确定方法;②采用桩基础的项目,正式施工前进行试桩检测已基本成为一种惯例。对于复杂场地,由于静载试验数量一般较少,难以覆盖场区所有的地层条件,因此在确定单桩承载力时应把握两点,一是以单桩静载试验测试结果为主要依据,二是通过计算复核,并结合现场条件和类似工程经验进行综合判定。

**5.3.7** 对于微型短桩的竖向极限承载力计算,规范推荐了通用的估算公式 5.3.7,即采用端阻力加侧阻力的计算模式。采用该模式的核心在于确定土的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值的经验值。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 强调上述两个计算参数的取值应由当地静载荷试验结果统计分析算得。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 通过对 645 根试验桩的资料进行分析试算,给出了对应于不同桩型土的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值的经验值。如无当地经验,可根据土层的物理力学指标按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 查表选取。为适应微型短桩的计算需要,条文中给出了除打入、压入式预制桩外,包括螺旋桩、灌注桩的极限端阻力标准值的取值方法。

**5.3.8** 抗拔系数具有长桩高于短桩、灌注桩高于预制桩、黏性土高于砂土的特点。本标准参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 关于抗拔桩的计算和现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 关于岩石锚杆的计算经验参数给出了微型短桩抗拔承载力计算采用的抗拔系数值。对于砂土层中的灌注桩,当成桩质量有保证时,抗拔系数可适当提高。

**5.3.9、5.3.10** 螺旋桩承载力的计算模式参考了国内外有关螺旋桩的研究成果,同时也结合了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中对扩底桩承载力计算的一些规定。在国外,螺旋桩的计算方法主要有“单盘承载力叠加法”和“连续剪切筒法”这两种,如图 1 所示。所谓的“单盘承载力叠加法”即认为单桩极限承载力为

每道叶片在深基础破坏模式下的极限承载力之和,叶片间中轴与土的侧摩阻力不再考虑,上部无叶片段的中轴如直径较大且长度较长时,该段的侧摩阻力可以考虑。这一计算模式的先决条件是叶片之间应有足够大的间距,以免各道叶片破坏应力区的重叠。工程实践和理论分析揭示,超过3倍叶片直径的间距可避免各道叶片之间的相互影响。“连续剪切筒法”假定在上下叶片之间形成一个圆柱形的剪切面,单桩承载力由叶片之间形成的竖向剪切面土体的抗力和上段杆体与土体的侧摩阻力组成。一般认为当叶片之间的间距小于叶片直径的3倍时可采用连续剪切筒法计算模式。我国工程界习惯采用侧摩阻力+端阻力的模式计算单桩承载力,也相应地积累了较多的经验参数,因此本规范采用“连续剪切筒法”作为螺旋桩承载力计算的基本模式。类似于扩底桩,抗压时叶片以上 $1D$ 长度范围内不计侧阻力,抗拔时第一道叶片以上 $2D$ 范围内的破裂柱体直径增大至叶片直径,超过该范围以上部分,破裂面缩小至桩土界面。按照上述计算模式,规范给出了螺旋桩承载力计算时的桩周计算周长 $u_i$ 的取值。

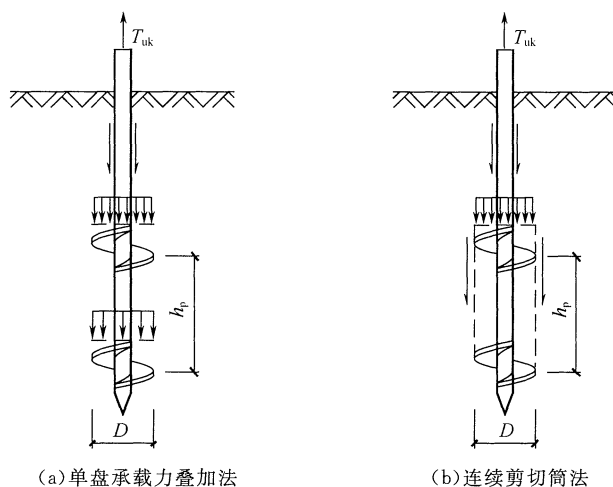


图1 螺旋桩计算模式

**5.3.11** 当按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定估算桩基础的水平承载力特征值时,应注意以下三方面的问题:①桩基规范中参与统计的试桩桩径  $d$  在 300mm~1000mm 之间,而太阳能发电站常用的桩基桩径一般都小于 300mm,如继续套用桩基规范中对桩身计算宽度的计算公式,计算结果偏于不安全;②规范规定螺旋桩可按桩径为  $d$  的等截面桩估算水平承载力,实际上是忽略了叶片对水平承载力的贡献,计算结果偏保守。当叶片直径较大且靠近上部时,应计入叶片的影响;③计算单桩水平承载力时,桩顶约束一般是按自由状态考虑。现场对比试验发现,当安装完支架后,桩基础的水平承载力有较大的提高,因此在按桩基规范估算桩基础的水平承载力时,可适当考虑支架刚度对桩基础水平承载力的提高作用。

**5.3.12** 桩身承载力应满足施工和使用两种工况的需要。螺旋桩在施工过程中承受较大的扭矩,应验算在此施工扭矩作用下,桩身的抗扭承载力。

**5.3.14** 填土压实处理应满足本规范第 5.3.2 条的规定,当不满足大面积压实的条件时,填土地基的基础宽度的地基承载力修正系数取 0,基础埋置深度的地基承载力修正系数取 1.0。

**5.3.15~5.3.17** 此三条是针对扩展式基础有可能滑动或倾覆所进行的抗滑移稳定性验算及抗倾覆稳定性验算的规定。当基础埋深较浅,在水平荷载作用下,基础有可能沿基底滑动,稳定安全系数采用抗滑力与滑动力的比值;对于沿支架阵列前后方向布置的条形基础和单(排)立柱柱下独立基础有可能发生倾覆时,稳定安全系数为抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值;对于双、多排立柱柱下独立基础或是沿阵列长度方向布置的条形基础,有可能发生绕前立柱柱下基础的倾覆,稳定安全系数采用基础自重与竖向拔力的比值。抗滑移与抗倾覆安全系数参考现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 进行了规定。抗拔安全系数规定为 1.6,与抗倾覆安全系数取为 1.6 在安全储备上是一致的。上述各有关作

用力的计算均应按本规范第 5.1.3 条～第 5.1.5 条的规定进行。条文中的“支架前后方向”是指与倾覆趋势一致的方向,“支架长度方向”则是与之垂直的方向。

**5.3.18** 太阳能发电站尤其是光伏电站支架基础所承受的荷载一般不大,因此当满足本规范对材料强度和构造的相关要求时,可不验算扩展式基础的结构承载力。

**5.3.19** 本规范涉及两类岩石地层中的锚杆基础,一类是植筋锚杆基础,另一类是岩石锚杆基础。锚杆基础的承载力应由锚杆筋体强度、锚杆筋体与胶粘剂或灌浆料间的黏结强度、锚杆与岩石间的黏结强度、岩石的剪切强度中的最小值确定。虽然目前在太阳能发电站中采用植筋锚杆基础的工程经验不是太多,但在结构加固领域植筋技术已相当成熟。初步估算植筋锚杆基础的承载力时,可参照相关行业的标准,比如现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 中有关“植筋技术”的规定,并应考虑到钢筋混凝土与岩石之间的区别。岩石锚杆的承载力特征值可按本规范 5.3.20 条中的规定进行估算。在通过现场试验确定锚杆的抗拔承载力时,考虑到短期加载与长期受荷的区别,承载力设计取值应有一定的安全储备。

**5.3.20** 大量的试验研究表明,岩石锚杆在 15 倍～20 倍锚杆直径以深的部位已没有锚固力分布,只有锚杆顶部周围的岩体出现破坏后,锚固力才会向深部延伸。

**5.3.22** 作为植筋所使用的钢筋,一般以普通热轧带肋钢筋锚固性能最好,光圆钢筋较差,所以规范强调采用带肋钢筋。同样的对于岩石锚杆,为增强锚杆筋体与混凝土或砂浆之间的握裹力,规定锚杆筋体宜采用热轧带肋钢筋。植筋锚杆的锚固性能很大程度上取决于胶粘剂,我国使用最广的胶粘剂是环氧基和改性乙烯基锚固胶,锚固胶的性能指标可参照现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 和现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 执行。由于支架基础所处环境位于室外,设计中应根据

其所在地的环境条件,对胶粘剂的耐候性提出要求。

**5.3.23** 对支架基础变形的规定主要强调了应考虑上部支架结构对地基基础变形的适应能力和满足其使用功能的要求,因此要求设计上部支架结构时应根据所支撑的光伏组件、聚光集热器、定日镜等的使用要求,支架的结构形式以及运行使用中的其他要求对支架基础的变形提出相应的限值规定。设计无特别要求时,宜参考表 5.3.23 中的要求对支架基础的变形允许值作出规定。一般情况下,各类型支架对地基基础变形的适应能力从大到小依次为:双轴跟踪、塔式、蝶式支架最大,固定式支架次之,然后是固定可调式、单轴跟踪式支架,槽式、菲涅尔式支架最小。当有可靠工程经验时,应按实际情况确定基础变形的限值。例如对于薄膜组件等无边框组件,其上部支架结构平整度要求为 2‰,据此应在表 5.3.23 的基础上降低支架基础的变形允许值。

**5.3.24** 本条规定了支架基础沉降变形的确定方法。有关分层总和法、等效作用分层总和法、单向压缩分层总和法的具体计算规定应按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。太阳能发电站中的桩基础以单桩基础居多,其沉降变形受相邻桩基的影响较小,因此本规范提出对于单桩基础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,在具体应用时应考虑长期加载和短时加载的区别。

**5.3.25** 钢材在土壤中的腐蚀速率与土壤的类型、地下水、pH 值、电阻率等多种因素有关,一般情况下具有初期较快,后期逐渐衰减的规律。本条中钢桩的腐蚀速率数据沿用了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定,镀锌层的腐蚀速率主要是参考了国外的一些研究成果。规范编制过程中,还收集到了国外有关规范中的一些资料,可供参考。欧洲标准 EN 1993-5 区分不同的土壤环境给出的钢材腐蚀量见表 1。英国标准 BS 8002:1994 给出了不同的使用环境中钢桩的腐蚀速率为:①未扰动的非工业

污染土壤中 0.015mm/年/侧；②大气环境中 0.035mm/年/侧；③海洋环境中，位于海床以下为 0.015mm/年/侧，常年浸泡在海水中为 0.035mm/年/侧，潮汐段为 0.035mm/年/侧，溅湿段为 0.075mm/年/侧。美国联邦高速公路管理局的标准 FHWA-SA-96-072 针对电阻率 $>30\text{ohm}\cdot\text{m}$ ， $5<\text{pH}<10$  的土壤给出的腐蚀速率为：①镀锌层最初两年为  $15\mu\text{m}/\text{年}/\text{侧}$ ，之后为  $4\mu\text{m}/\text{年}/\text{侧}$ ；②碳钢  $12\mu\text{m}/\text{年}/\text{侧}$ 。

表 1 欧洲标准 EN 1993-5 建议的钢材腐蚀量(mm)

| 设计使用年限(年)                | 5    | 25   | 50   |
|--------------------------|------|------|------|
| 没有扰动的原状土(砂、粉土、黏土等)       | 0.00 | 0.30 | 0.60 |
| 污染的原状土和工业用地              | 0.15 | 0.75 | 1.50 |
| 具有腐蚀性的原状土(沼泽、泥炭质土等)      | 0.20 | 1.00 | 1.75 |
| 没有压实的且腐蚀性不强的填土(黏土、粉土、砂等) | 0.18 | 0.70 | 1.20 |
| 没有压实的具有腐蚀性的填土(炉灰、矿渣等)    | 0.50 | 2.00 | 3.25 |

## 5.4 构造规定

**5.4.1** 对于螺旋桩，条文中的桩身直径指桩杆直径。

**5.4.2** 为了安装支架的方便，实际工程中桩顶一般露出地面一定高度，桩长与常规意义上的桩长有所区别，从确保承载力的角度而言，条文中强调了基桩进入土层的有效长度。

**5.4.3** 螺旋桩叶片直径的大小与其承载力和施工性能有直接的关系，叶片直径越大，所能获得的承载力越大，但叶片直径过大也增加了施工的难度，甚至会造成旋拧过程中桩体的损坏。根据诺斯曼能源科技(北京)股份有限公司的经验，叶片直径控制在桩杆直径的 2 倍~4 倍为宜。为研究螺旋桩的叶片间距对承载力的影响，诺斯曼公司对工程中常用的叶片直径为 176mm 和 236mm 的两种螺旋桩进行了现场静载荷试验，叶片间距与承载力关系的试验结果见图 2。图 2 中的承载力归一化值指的承载力测试值与同桩长、同叶片直径桩中的最大的承载力测试值的比值。图 2 表明

对于承载力而言,螺旋桩存在最优叶片间距比的问题。根据试验结果,本规范规定螺旋桩的叶片间距比宜为 3~4。

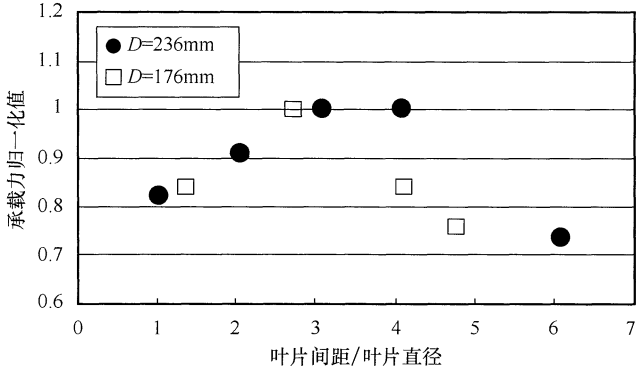


图 2 叶片间距与承载力关系的试验结果

**5.4.4 热浸镀锌**是目前工程中钢桩常用的一种防腐措施。根据现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定,对于常规规格的钢桩(其壁厚满足  $3\text{mm} \leq \text{钢厚度} < 6\text{mm}$  的条件),镀层局部厚度的最小值为  $55\ \mu\text{m}$ ,平均厚度的最小值为  $70\ \mu\text{m}$ 。考虑到钢桩的施工方式、使用环境,条文中对钢桩的镀锌层厚度作出了规定,当地基为密实的砂卵石层时,镀锌层在施工过程中的磨损量会加大,设计时可根据地层的腐蚀程度调整镀锌层的厚度要求。

**5.4.5 受施工场地场平标高和施工工艺的限制**,桩基础桩顶标高往往不易控制,而且对于预制桩而言,需控制桩基础的入土深度,如施工面存在高差,则桩顶标高势必不一致,为保证支架的安装高度和倾角,桩基础与上部支架的连接需采取具有高度可调节功能的设计,通过调节立柱高度来控制支架的安装标高。钢管螺旋桩、钢管灌注桩、预埋钢管的扩展式基础配以钢管立柱可实现这一功能。当通过调节支架立柱高度来控制支架的安装标高时,应在支架结构设计中明确立柱高度的可调节范围。



**5.4.6** 为与上部立柱连接,在工程实践中,往往采用钢管作为灌注桩的加筋体,或是上部采用钢管,下部焊接钢筋。对灌注桩最小配筋率的要求沿用了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。由于支架基础一般都承受一定的水平荷载和弯矩作用,灌注桩的主筋不应小于  $3\phi 10$ ,以保证受拉区有钢筋。同桩基规范相比,本规范将微型桩主筋的最小配筋率由  $6\phi 10$  调整为  $3\phi 10$ ,主要是考虑到光伏支架基础中有大量采用直径 150mm 左右的灌注桩,采用 6 根主筋施工困难且没有必要,实际工程中多采用 3 根,经检测也未发现因主筋配筋不足导致桩身承载力不满足要求的情况。对于直径超过 150mm 的微型桩,在符合本规范最小配筋率要求的基础上,应根据桩顶荷载的要求考虑主筋的配置。当桩径较小,主筋的配置不易满足条文规定时,宜采用钢管作为加筋体。

**5.4.7** 桩身混凝土强度应根据环境类别、地下水土的腐蚀性、桩基的使用年限、施工工艺进行选择,但不应低于条文中对最低强度的规定。对于微型桩规定采用细石混凝土或是水泥砂浆,主要是考虑可灌性的要求。国外微型桩也有采用水泥浆作为桩身材料的,为避免桩头开裂,需在桩顶一定范围内采用钢套管包裹水泥浆,从造价及施工的便利性等角度,本规范未推荐使用。

**5.4.8** 根据太阳能发电站建设的特点,支架基础不宜采用泥浆护壁水下灌注桩。如遇水下灌注的情况,灌注桩主筋的混凝土保护层厚度应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定,不得小于 50mm。

**5.4.9** 本条对扩展式基础的最小埋置深度提出要求,主要是从对基底持力层的要求、稳定性、防冲刷、动植物的影响等方面提出的。季节性冻土区基础的埋置深度宜大于场地冻结深度,对于深厚季节冻土地区,当基础底面土层为不冻胀、弱冻胀、冻胀土时,基础埋深可以小于场地的设计冻深。基础底面下允许冻土层最大厚度应根据当地经验并根据支架结构对地基变形的适应程度进行确定。

**5.4.10** 对于预制扩展式基础,为确保基底与地基接触良好,必须

设置一定厚度的混凝土垫层。本条对垫层混凝土强度的规定高于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定,依据的是现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对混凝土最低标号的调整。

**5.4.11** 条文中对无筋扩展式基础混凝土强度等级的要求比现行国家规范《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的要高,是考虑到支架基础需承受一定的上拔、倾覆荷载作用,所以除了对无筋扩展式基础的截面形状进行要求以满足压应力的扩散外,还要求基础混凝土材料本身具有一定的抗裂能力。当基础高度不满足条文中的要求时,为保证基础的抗弯和抗裂能力,宜采用配筋扩展式基础。

**5.4.12** 本条基本沿用了现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关构造规定,考虑到支架柱距一般较近,条形基础的高度与柱距的比值略作了调整。

**5.4.13** 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定扩展基础受力钢筋的最小配筋率为 0.15%,与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中规定对卧置于地基上的混凝土板受拉钢筋的最小配筋率不应小于 0.15%是一致的,本规范沿用了此规定。由于支架基础所承受的荷载一般较小,按计算确定的受力钢筋数量往往低于按 0.15%配筋率确定的数量。通过调研也发现,多个已建光伏电站项目中支架条形基础的配筋率也未达到 0.15%,因此本条规定当基础受力钢筋实际配筋量比计算所需多 1/3 以上时,可不受本条最小配筋率的限制,但必须满足本规范其他构造要求。

**5.4.15** 混凝土立柱中的纵向受力钢筋、预埋锚栓或是钢立柱在混凝土基础中的锚固长度可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的相关规定进行计算。为避免受拉时混凝土出现受拉破坏,应满足条文中对最小竖向锚固长度的规定。钢管内外壁均与混凝土接触可有效地提高其锚固强度,因此条文中对管内混凝土的最小高度提出了

相应的要求。

**5.4.16** 本条规定了岩石地层中锚杆的锚固深度和间距。一般原则是,中等风化岩石中的锚固深度和间距宜大于微风化和未风化的。对于植筋锚杆锚固长度的规定主要是参照了相关的一些国家和行业标准的规定。根据现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145—2004 提供的化学植筋抗拔试验资料(基材混凝土强度为 C25~C30),当有效锚固深度小于 9 倍锚杆筋体直径时,主要表现为混凝土锥体与钢筋拔出之混合型破坏(带锥拔出),当有效锚固深度超出 9 倍锚杆筋体直径时,则多表现为钢筋拉断。当充分利用钢筋的抗拉强度,并假定基材强度等级与 C25 混凝土相当,根据现行国家规范《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 计算的基本锚固深度对于 HRB335 钢筋为  $22.2d$ ,对于 HRB400 钢筋为  $26.7d$ 。由于一般情况下支架基础所承受的荷载不大,在极限荷载作用下,锚杆筋体被拉断的可能性较小,如一根  $\phi 10$  的 HRB335 钢筋,其抗拉承载力可达到 23.6kN,已足够承担一般光伏电站固定式支架基础的上拔荷载。当按构造要求植筋时,现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 规定最小的锚固长度不应小于 0.3 倍的基本锚固深度,且不应小于  $10d$  和 100mm。综合上述规范的规定,并考虑到同混凝土相比,岩石质量的变异性较大,本规范规定岩石植筋锚杆的有效锚固长度不应小于 20 倍的锚杆筋体直径。锚杆间距和边距,系参照现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 制订的。岩石锚杆的构造要求主要是参考了现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007和《电力工程高压送电线路设计手册(第二版)》的相关规定。

**5.4.17** 条文中对支架基础顶标高的规定主要是考虑上部支架安装施工的需要。

## 6 施 工

### 6.1 一 般 规 定

**6.1.1** 本条规定了支架基础施工前应收集、编制的技术文件资料。施工单位应根据场区的工程地质和水文地质条件选择适宜的施工工艺和施工设备,因此必须收集场区的岩土工程勘察报告。通过图纸会审和设计交底可以熟悉设计图纸,领会和传达设计意图,找出存在的技术错误并形成解决方案,从而将设计缺陷消灭在施工前,达到确保施工质量、节约施工成本、缩短施工工期的目的。施工组织设计是指导施工的技术、经济和组织管理的综合性文件,认真做好施工组织设计对确保工程质量、进度和安全,实现预期经济效益起着重要作用。在工程中使用的材料均应为符合国家现行工程建设标准及相关产品标准的合格产品,应随进场提供合格证和质检报告,严禁使用不合格产品。由于基础工程属于地下工程,在施工前应调查、探明地下管线、构筑物的分布,避免因土方开挖、基础施工对其造成损坏。

**6.1.2** 图纸会审纪要所确定的技术问题具有同施工图一致的效力,是工程验收的重要依据,应作为竣工资料的组成部分。参与图纸会审和设计交底的除了支架基础的施工方外,有必要时应让支架安装施工单位共同参加,统一认识,明确施工交接标准。

**6.1.6** 原始的施工记录和试验记录一方面是工程开展过程的取证,另一方面又是工程验收的一项重要依据,同时将作为竣工资料的组成部分,应能真实地反映施工的状况,应由施工方整理移交。

**6.1.7** 本条说明了支架基础施工中隐蔽工程的一些基本项目,实际工程中可不限于条文中所列项目。

**6.1.8** 由于岩土工程的复杂性和变异性,难以在勘察和设计阶段

解决所有的问题,当施工过程中出现异常情况时,施工单位应通知监理或建设单位并会同各方协商解决。如施工过程中遇到钻机难以钻进、地下存在障碍物等导致施工无法正常进行的情况,施工单位一般会主动汇报,但当遇到局部存在软弱土层、地下水位明显偏高、施工扭矩等监测值明显偏低等情况时,往往不予上报,但这些可能产生严重的质量隐患,必须引起足够的重视,必要时应调整设计参数和施工工艺。

## 6.2 桩 基 础

**6.2.3** 要求桩基施工设备就位后应稳固是从确保施工安全、控制施工质量方面要求的。有条件时,如在平地施工,应要求桩基施工设备平整,但在山地项目中,受地形限制,桩基施工设备不可能平整,机身往往处于倾斜状态,这时必须确保机身的稳固,必要时应加设辅助稳固措施。

**6.2.4** 太阳能发电站中的用到的预制桩桩长一般较短,具备工厂一次制作成型的条件,且在工厂一次制作成型有利于控制桩身质量,因此应在工厂一次制作成型。对于短桩采取常规的锤击或是静压施工工艺,施工机具庞大,移动不便,效率低,且不易控制贯入度。采用类似于施工钢板桩的钳式液压振动锤压入已在江浙一带的电站施工中被证明是比较有效的施工工法。螺旋桩施工过程中如钻进困难,可以采用引孔钻进的施工工艺。实际工程中,有采取将桩位处土体利用大功率设备大面积钻松再施工螺旋桩的情况,也有直接挖沟埋设的做法,这两种方法均会导致桩周为松散的土体,类似于螺旋桩施工在回填土中,会造成严重的质量隐患,应予禁止。桩打入时加衬垫的目的是防止桩顶应力集中造成桩体损坏。细长型钢桩,在沉桩过程中采取侧向约束措施是为了避免桩体本身在施工荷载作用下受压屈曲。

**6.2.5** 太阳能发电站工程中的支架桩基础多为微型短桩,具备采用干作业成孔工艺施工的条件,相较于泥浆护壁成孔施工工艺,干

作业成孔具有环保快捷的优势,因此条文中规定灌注桩施工宜采用干作业成孔。对于淤泥等软土地层和松散的砂土地层,会因为缩径或是塌孔,干作业成孔困难,不宜采用灌注桩。为避免因新老混凝土交界面处理不当影响灌注桩桩身质量,每根桩宜一次灌注完毕。

### **6.3 扩展式基础**

**6.3.1** 本条说明了基槽验收的基本内容和要求。验收合格后应尽快进行下道工序的施工,避免验收合格的基槽受到人为和自然因素的扰动。

**6.3.2、6.3.3** 对于混凝土工程而言,浇筑和养护是影响质量的两个关键工序,比如拆模后出现蜂窝、麻面一般与振捣不密实有关,混凝土疏松、强度达不到设计要求往往与振捣不密实或是养护不到位有关,在施工过程中应重点加强对这两个工序的控制。当日平均气温低于 $5^{\circ}\text{C}$ 时,不得采用浇水养护的措施,且在低温条件下混凝土易受冻,因此在我国北方严寒地区冬季不宜进行现浇混凝土基础的施工。如经充分论证可行且有可靠的施工经验,严寒地区冬期也可以施工,但必须采取有效的养护、防冻措施。

### **6.4 锚杆基础**

**6.4.1** 岩石自身的完整程度直接影响锚杆与岩石的锚固强度,且覆土和破碎层会影响钻孔施工,因此锚杆施工前应对岩石基面进行清理。本规范中的第 5.4.16 条中规定的有效锚固深度亦是指锚入相对完整基岩中的长度。

**6.4.2** 锚孔的清理是否到位、注胶是否饱满、钢筋的放置方法是否合适对锚杆的承载力影响很大,条文中对这些工序的技术要求作出了相应的规定。当在锚固钢筋上施焊或使用气焊切割时,会或多或少地引起钢筋温度的升高,直接影响到胶粘剂的黏结强度和耐久性,所以应避免在锚固钢筋上施焊或使用气焊切割。当必

须在锚固钢筋上施焊或使用气焊切割时,应采取措施,比如断续施焊、施工部位与注胶孔顶面保持一定的距离、使用湿布包裹钢筋等措施保证钢筋根部的温度不超过胶粘剂产品说明规定的最高短期温度。

**6.4.3** 岩石锚杆的施工质量对锚杆抗拔力的影响很大,在施工中必须将钻孔清理干净,孔壁不允许有泥膜、石粉、松散碎屑存在。灌浆料灌注结束后,应振捣密实,避免出现孔洞,影响锚杆质量和锚筋与灌浆料之间的握裹力。

**6.4.6** 对于废孔应进行注胶(浆)处理,避免人为造成岩石基体的破损。

## 7 质量检验与验收

### 7.1 质量检验

**7.1.1** 本条强调了支架基础施工质量的过程控制和成品验收,经验收合格后方可进行上部支架安装等下道工序的施工。影响支架基础施工质量的因素存在于基础施工的全过程,仅有施工后的试验和验收是不全面的,应加强施工过程中的检查。

**7.1.2** 基础工程中使用的原材料主要包括钢材、钢筋、混凝土、水泥、砂、石子等,进场复验项目、抽检数量、检验方法及其质量评定标准应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢筋混凝土用钢》GB 1499、《通用硅酸盐水泥》GB 175等标准的要求。成品桩和构件主要包括钢桩、预制桩、钢筋笼等,应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及本规范的相关要求进行质量检验。

**7.1.3** 基桩、锚杆的承载力检测要求在施工结束后间隔一个间歇期后进行,是因为地基土强度的恢复、混凝土或胶粘剂强度的增长需要一个期限,施工结束即进行验收有不符合实际的可能。

**7.1.5** 由于同条件养护试件具有与实际结构相同的原材料、配合比和养护环境,能有效代表结构的实际强度,因此条文中强调了混凝土和砂浆试件除了进行标准养护之外,还应进行同条件养护。

**7.1.6** 根据太阳能发电站的特点,仅采用扩展式基础的工程涉及基槽检验。基槽检验是岩土工程勘察不可缺少的重要组成部分,勘察单位应参与并给出验收结论。

**7.1.7** 压实填土的施工质量主要由压实系数进行控制,施工过程中应分层检验填土的压实系数,检验合格后方可填筑上层填土。



条文中列出了常用的一些检验方法,实际操作过程中可不受此局限,抽检数量沿用了现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的规定。

**7.1.8** 微型短桩由于桩长较短,且多为干作业成孔,成桩质量易得到保证,在已完工程项目中要求进行桩身质量检验的不多见,因此在规范中未明确要求需进行桩身质量检验。当对桩身质量有怀疑时,应进行检验,可采用动测法或是挖开检验。当对桩身混凝土强度有怀疑时,可钻孔取芯进行混凝土强度检验。工程桩抽检的数量同现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 相比有调整,主要有以下几点考虑:①当采用桩基础时,每个项目的工程桩数量往往较多,例如对于常规 20MW 的光伏发电站,工程桩的数量可达到 3 万根以上,如按照现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》要求的 1% 进行抽检,则需要抽检约 300 根桩,如照此实施,无论是时间和费用无疑投入太大;②电站中用到的微型短桩,大多入土深度较浅,只要在施工中控制好质量,承载力应该能够满足设计要求。由于电站占积较广,桩基础的检验应按照易于控制施工质量的原则,分区域进行抽检,符合本规范第 7.1.4 条第 4 款中的“抽检位置宜均匀分布”的要求。地层局部明显软弱等岩土特性复杂可能影响施工质量的部分应有试验桩,并应根据检测情况适当增加抽检数量。

**7.1.10** 采用锚杆基础时,锚杆数量一般是采用桩基础时工程桩数量的倍数,因此抽检比例同桩基础相比有所降低。

## 7.2 工程验收

**7.2.1** 太阳能发电站工程一般占地广、规模大,且可能在同一项目中存在采用不同的地基基础方案的情况,可按工程管理的需要,划分若干个不同的子分部工程分开进行验收,如土石方挖填、桩基础、扩展式基础、锚杆基础等。

**7.2.5** 本条规定了支架基础验收的组织程序以及验收的组织者

和参加验收的相关单位和人员。由于工程监理实行总监理工程师负责制,因此分部工程应由总监理工程师(或建设单位项目负责人)组织相关人员进行验收。因为地基基础的主要技术资料和质量问题是归技术部门和质量部门掌握,所以规定施工单位的技术、质量部门负责人参加验收是符合实际的。由于地基基础工程技术性能要求严格,技术性强,关系到工程的安全,因此规定勘察、设计单位工程项目负责人也应参加支架基础工程的验收。