

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:2016年12月1日

中国计划出版社

2016 北 京

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

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 3 印张 73 千字
2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

☆

统一书号: 1580242·928

定价: 18.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1102 号

住房和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 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转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^i —— 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_a ——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_a ——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；
 α_w ——含水比；
 γ ——基础底面以下土的重度；
 γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度；
 λ_c ——压实系数；
 μ ——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

- ϕ_{Eh} —— 水平地震作用组合值系数；
- ϕ_M —— 施工检修荷载作用组合值系数；
- ϕ_S —— 雪荷载作用组合值系数；
- ϕ_W —— 风荷载作用组合值系数；
- γ_{Eh} —— 水平地震作用的分项系数；
- γ_G —— 永久荷载作用的分项系数；

- γ_M —— 施工检修荷载作用的分项系数；
- γ_S —— 雪荷载作用的分项系数；
- γ_w —— 风荷载作用的分项系数；
- η_b —— 基础宽度的地基承载力修正系数；
- η_d —— 基础埋置深度的地基承载力修正系数；
- ζ_a —— 地基抗震承载力调整系数；
- λ_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、泥石流的地段和发震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} 、 ψ_w ——风荷载作用标准值 Q_{Wk} 的效应和其组合值系数;

S_{Sk} 、 ψ_s ——雪荷载作用标准值 Q_{Sk} 的效应和其组合值系数;

S_{Ehk} 、 ψ_{Eh} ——水平地震作用标准值 Q_{Ehk} 的效应和其组合值系数;

S_{Mk} 、 ψ_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: γ_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;

γ_w ——风荷载作用的分项系数,应取 1.4;

γ_s ——雪荷载作用的分项系数,应取 1.4;

γ_{Eh} ——水平地震作用的分项系数,应取 1.3;

γ_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	ψ_w	ψ_s	ψ_{Eh}	ψ_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	ψ_w	ψ_s	ψ_{Eh}	ψ_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							锚杆基础
		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	
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 λ_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(λ_c)		控制含水量 (%)
	光伏电站	光热电站	
扩展式基础基底下基础底面宽度的 3 倍且不小于 3m 或桩基础桩顶至预计桩端平面以下 3m	≥ 0.95	≥ 0.96	$\omega_{op} \pm 2$
其他部位	≥ 0.93	≥ 0.94	

注:压实系数 λ_c 为填土的实际干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值; ω_{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 $2.1t/m^3 \sim 2.2t/m^3$ 。

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^2);

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: λ_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	πd
叶片之间	上道叶片以下 $3D$ 范围	πD
	下道叶片以上 $1D$ 范围	0
	其余部位	πd

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 λ_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	πD
	其余部位	πd
叶片之间	下道叶片以上 $3D$ 范围	πD
	上道叶片以下 $1D$ 范围	0
	其余部位	πd

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(m^3)。

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

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

式中: l ——垂直于力矩作用方向的基础底面边长(m);

a ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离(m)。

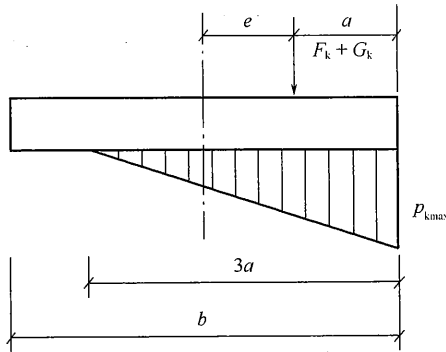


图 5.3.13 偏心荷载($e > b/6$)下基底压力计算示意
 b —力矩作用方向基础底面边长

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(kPa);

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

γ ——基础底面以下土的重度(kN/m^3),地下水位以下取浮重度;

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度(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);

ζ_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		η_b	η_d
大面积 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 $2100\text{kg}/\text{m}^3$ 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 η_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	ζ_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	ζ_a
稍密的细、粉砂, $100\text{kPa} \leq f_{ak} < 150\text{kPa}$ 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);

μ ——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 μ
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(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(m);

h ——基础高度(m)。

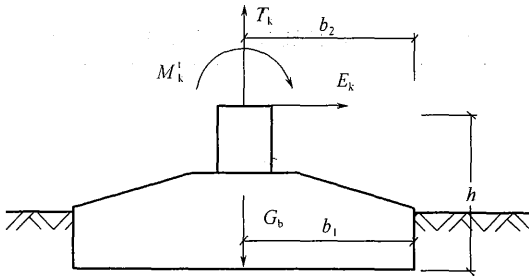


图 5.3.16 扩展式基础抗倾覆稳定验算示意图

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:

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

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:

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

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($\mu\text{m}/\text{年}$)

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，并应采取妥善保护措施。

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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/058054132050006070>