

团 体 标 准

T/CPIA 0011.203—2019

户用光伏并网发电系统 第 2-3 部分：设计规范 结构设计

Residential grid-connected photovoltaic (PV) system-

Part 2-3: Design specifications-structure

2019-2-14 发布

2019-3-15 实施

中国光伏行业协会 发布

前 言

T/CPIA 0011《户用光伏并网发电系统》分为如下部分：

- 第1部分：现场勘察与安装场地评估；
- 第2-1部分：设计规范 一般要求；
- 第2-2部分：设计规范 方阵设计；
- 第2-3部分：设计规范 结构设计；
- 第2-4部分：设计规范 电气安全设计；
- 第2-5部分：设计规范 系统接入设计；
- 第3部分：安装与调试规范；
- 第4部分：验收规范；
- 第5部分：运行和维护规范；
- 第6部分：发电性能评估方法。

本部分为T/CPIA 0011的第2-3部分。

本部分根据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》和GB/T 1.2-2002《标准化工作导则 第2部分：标准中规范性技术要素内容的确定》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：江苏天合智慧分布式能源有限公司、天合光能股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、江苏爱康绿色家园科技有限公司、珠海兴业绿色建筑科技有限公司、汉能移动能源控股集团有限公司、天津中环新能源有限公司、山东力诺电力设计咨询有限公司。

本部分主要起草人：王勇、姜迪、王继业、肖桃云、靳云红、余国保、毛惠洁、裴会川、王赶强、汪舟、陈大英、张利强、呼森巴图、孙少春、武振羽、徐贵阳、李冉。

户用光伏并网发电系统 第2-3部分：设计规范 结构设计

1 范围

T/CPIA 0011的本部分规定了户用光伏并网发电系统设计规范之结构设计要求、支架设计、基础设计等。

本部分适用于以220V或380V电压等级接入用户侧电网或公共电网的户用光伏并网发电系统，220V电压等级单点接入容量不宜超过8kW，380V电压等级单点接入容量不宜超过400kW。

本部分不适用于带储能光伏系统、聚光光伏系统、BIPV光伏系统和双面组件光伏发电系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 818 十字槽盘头螺钉
- GB/T 2297 太阳光伏能源系统术语
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹
- GB/T 3098.4 紧固件机械性能 螺母 细牙螺纹
- GB/T 3098.5 紧固件机械性能 螺栓 自攻螺钉
- GB/T 3098.6 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.15 紧固件机械性能 不锈钢螺母
- GB/T 5237 铝合金建筑型材
- GB/T 5277 紧固件 螺栓和螺钉
- GB/T 13912 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 14683 硅酮建筑密封胶
- GB 16776 建筑用硅酮结构密封胶
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计规范
- GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范
- GB 50429 铝合金结构设计规范
- GB 50797 光伏发电站设计规范
- GB 51101-2016 太阳能支架基础技术规范
- JGJ 102 玻璃幕墙工程技术规范
- JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
- CECS 410 不锈钢结构技术规程

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 2297、GB 50009、GB 50017和GB 51101界定的术语和定义适用于本文件。

3.1.1

全支撑支架 all extension supporting frame structure

或称拉拽方案支架。指光伏系统的主龙骨通过型钢或钢索等材料固定在建筑的四周墙体上，而不与屋面直接连接的支架形式。主要适用于屋面承载力较差、防水要求高的斜屋面建筑。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形限值；

$C25$ ——立方体抗压强度标准值为 25N/mm^2 的混凝土强度等级；

R ——结构构件承载力的设计值；

S ——荷载效应组合的设计值；

S_K ——雪荷载标准值；

S_0 ——基本雪压；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

S_{sK} ——雪荷载效应标准值；

S_{wK} ——风荷载效应标准值；

μ_r ——屋面积雪分布系数；

μ_s ——风荷载体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数；

w_k ——风荷载标准值；

w_0 ——基本风压；

β_{gz} ——阵风系数；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_o ——重要性系数；

γ_s ——雪荷载的分项系数；

γ_w ——风荷载的分项系数；

Ψ_s ——雪荷载的组合值系数；

Ψ_w ——风荷载的组合值系数。



4 材料要求

4.1 应结合工程实际选用合适的光伏支架材料、光伏支架设计结构方案和构造措施，保证支架结构在运输、安装和使用过程中满足强度、稳定性、刚度及防腐要求。

4.2 光伏支架材料及夹具等配件宜采用钢材、铝合金、不锈钢等材料，材质的选用和支架设计应符合现行标准GB 50017、GB 50429、CECS 410等规定。

4.3 有防水功能要求的光伏发电系统，其密封材料宜采用中性硅酮耐候密封胶，且应符合现行标准GB/T 14683的规定。光伏发电系统中使用的结构胶宜选用中性硅酮结构密封胶，其性能应符合现行标准 GB 16776的规定。

4.4 与光伏支架配套使用的紧固件及附件应符合现行标准GB/T 5277、GB/T 818、GB/T 3098.1、GB/T 3098.2、GB/T 3098.4、GB/T 3098.5、GB/T 3098.6、GB/T 3098.15的规定。

4.5 现浇混凝土基础中采用的预置埋件及锚筋应符合现行标准GB 50010的规定。后加锚栓连接时锚栓应有出厂合格证且符合现行标准JGJ 145的规定。

5 设计要求

5.1 设计原则

5.1.1 结构设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数的设计表达式进行计算。

5.1.2 承重结构按承载力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

5.2 荷载和荷载效应计算

5.2.1 支架应按承载能力极限状态计算结构和构件的强度、稳定性以及连接强度，按正常使用极限状态计算结构和构件的变形。

5.2.2 按承载能力极限状态设计结构构件时，应采用荷载效应的基本组合或偶然组合；荷载效应组合的设计值应按式（1）验算：

$$\gamma_0 S \leq R \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

γ_0 ——重要性系数。光伏结构的设计使用年限宜为 25 年，安全等级为三级，重要性系数不小于 0.95；

S ——荷载效应组合的设计值；

R ——结构构件承载力的设计值。

5.2.3 按正常使用极限状态设计结构构件时，应采用荷载效应的标准组合；荷载效应组合的设计值应按式（2）验算：

$$S \leq C \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S ——荷载效应组合的设计值；

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形限值。

5.2.4 光伏结构的荷载和荷载效应计算应符合下列规定

5.2.4.1 基本风压、基本雪压应按现行标准 GB 50009 中 100 年及 10 年一遇的荷载取值，计算得出重现期不低于 25 年的相应值进行取值。

5.2.4.2 地面和平屋顶楼面支架风荷载的体型系数应取 1.3。光伏组件紧贴建筑物立面安装、紧贴斜屋顶安装时（组件表面与瓦面距离 $\leq 20\text{cm}$ ），光伏组件不宜伸出建筑物立面或者屋面。安装的支架风荷载的确定应按现行标准 GB 50009 的要求进行取值。复杂风荷载体型系数宜进行风洞试验后来确定。

5.2.4.3 荷载效应组合的设计值应按式（3）计算：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_w \Psi_w S_{wK} + \gamma_s \Psi_s S_{sK} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S ——荷载效应组合的设计值；

γ_G ——永久荷载分项系数；取 1.2，永久荷载效应对结构承载力有利时，应取 1.0；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

S_{wK} ——风荷载效应标准值；

S_{sK} ——雪荷载效应标准值；

γ_w 、 γ_s ——风荷载、雪荷载的分项系数，取 1.4；

Ψ_w 、 Ψ_s ——风荷载、雪荷载的组合值系数。

5.2.4.4 位移计算采用的各荷载分项系数均应取 1.0，承载力计算时，荷载组合值系数应符合表 1 的规定。

表 1 荷载组合值系数表

荷载组合	荷载系数	
	风荷载, Ψ_w	雪荷载, Ψ_s
永久荷载、风荷载	1.0	——
永久荷载、雪荷载	——	1.0

5.2.4.5 光伏发电系统的风荷载应按式(4)计算

$$w_k = \beta_{gz} \times \mu_s \times \mu_z \times w_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- w_k ——风荷载标准值,单位为千牛顿每平方米(kN/m²);
- β_{gz} ——阵风系数;
- μ_z ——风压高度变化系数;
- μ_s ——风荷载体型系数;
- w_0 ——基本风压,单位为千牛顿每平方米(kN/m²)。

5.2.4.6 阵风系数 β_{gz} ,按现行标准 GB 50009 的规定选用;风压高度变化系数 μ_z ,按现行标准 GB 50009 的规定选用;风荷载体型系数 μ_s ,按现行标准 GB 50009 的规定选用;基本风压 w_0 ,按现行标准 GB 50009 规定的不低于 25 年重现期的规定值选用。

5.2.4.7 光伏发电系统的雪荷载应按式(5)计算。

$$S_K = \mu_r S_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- S_K ——雪荷载标准值,单位为千牛顿每平方米(kN/m²);
- μ_r ——屋面积雪分布系数;
- S_0 ——基本雪压,按现行标准 GB 50009 规定的 25 年重现期的规定值采用。

5.2.4.8 屋面积雪分布系数 μ_r ,按现行标准 GB 50009 规定值选用;基本雪压 S_0 ,按现行标准 GB 50009 规定的不低于 25 年重现期的规定值选用。山区雪荷载应通过实际调查后确定,当无实测资料时,可按当地邻近空旷平坦地面的雪荷载值乘以系数 1.2 采用。

5.2.4.9 结构设计时,应对施工检修荷载进行验算,基本原则如下述:

- a) 进行结构构件承载力验算时,荷载组合应取永久荷载;
- b) 施工检修荷载,永久荷载的分项系数取 1.2,施工或检修荷载的分项系数取 1.4;
- c) 进行结构构件位移验算时,荷载组合应取永久荷载和施工检修荷载,分项系数均应取 1.0。

5.3 设计指标及允许值

5.3.1 光伏支架结构材料的物理性能指标及强度设计值、焊缝的强度设计值、螺栓连接的强度设计值应根据现行标准 GB 50017、GB 50429、CECS 410 的规定选用。

5.3.2 结构或构件变形的设计应满足现行标准 CB 50797 的规定。

5.3.2.1 风荷载取标准值下支架的柱顶位移不应大于柱高的 1/60。

5.3.2.2 受弯构件的挠度容许值不应超过表 2 的规定:

表 2 受弯构件的挠度容许值

受弯构件		挠度容许值
主梁		L/250
次梁	无边框光伏组件	L/250
	其他	L/200

注：L 为受弯构件的跨度。对悬臂梁，L 为悬伸长度的 2 倍。

5.3.2.3 受压和受拉构件的长细比限值应符合表3的规定：

表 3 受压和受拉构件的长细比限值

构件类别		容许长细比
受压构件	主要承重构件	180
	其他构件、支撑等	220
受拉构件	主要构件	350
	柱间支撑	300
	其他支撑	400

注：对承受静荷载的结构，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。

6 支架结构设计

6.1 设计原则

6.1.1 在建筑屋面安装光伏发电系统，应根据支架形式判别新增荷载对原建筑的安全性，必要时可对原结构承载力进行复核计算，确保光伏发电系统不影响原建筑的正常使用。在金属屋面或瓦屋面等斜屋面上安装光伏发电系统时，宜优先选用沿屋面坡度平行安装的结构形式，避免屋面风荷载体形系数的改变带来对原结构的影响。建设于地面的光伏发电系统，设计时应考虑地质条件，选择受力最合理、施工难度低的支架及基础方案。

6.1.2 设计结构构件时，受拉强度应按净截面计算，受压强度应按有效净截面计算，稳定性应按有效截面计算，变形和各种稳定系数均可按毛截面计算。

6.1.3 光伏支架的构件应分别进行强度计算、整体及局部稳定计算，对于立柱还应验算柱顶位移，对于梁和檩条还应验算挠度值。

6.1.4 计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时，荷载的组合形式，各项荷载的分项系数、组合值系数均应满足现行标准 GB 50009 要求。

6.1.5 在结构设计文件中应注明设计使用年限、材料牌号、焊缝形式、焊缝等级及对施工的要求。

6.2 构造要求

6.2.1 光伏支架可由多个梁、柱、檩条单元构件组成。单元构件之间宜通过连接件采用螺栓连接，连接件节点板最小厚度应满足现行标准 GB 50017 要求。各单元构件的中心线宜交汇重合。

6.2.2 镀锌钢支架用于主梁和柱的板厚不宜小于 2.5mm，当有可靠依据时板厚可取 2mm，用于次梁的板

厚不宜小于 1.5mm，如采用高强钢设计的支架板材厚度不宜小于 1mm。

6.2.3 檩条应尽量选择通长不断开形式，如必须断开，嵌套搭接部分宜采用螺栓连接，断开部位的弯矩宜小于该跨最大弯矩的 25%。

6.2.4 光伏支架的立柱柱脚在主刚架平面内宜设计为刚接，在平面外可设计为铰接，同时主刚架间宜用交叉张紧的圆钢、钢索或型钢作为柱间支撑以保证平面外刚度。

6.2.5 型钢、圆钢或钢索作为交叉支撑时应按拉杆设计，支撑中的刚性系杆应按压杆设计，当圆钢支撑直接与梁柱的腹板连接时应设置垫块或垫板。

6.2.6 光伏支架的最小倾角不宜小于 3° ，组件离地或屋面最低高度应满足现行标准 GB 50797 要求。

6.2.7 安装金属屋面的光伏发电系统，逆变器宜安装在山墙、立柱等竖向构件上，如安装在屋面上的，宜分散布置，并进行局部的屋面承重校核。

6.2.8 安装在坡屋面上的光伏发电系统，采用全支撑形式支架的，应保证支架与建筑物的梁、柱构件有足够数量的锚固节点，具体数量应进行计算确定，北坡的拉杆可选用钢索或型钢。

6.2.9 安装在地面上的支架，柱脚底面在地面以下的部分应采用混凝土包裹（保护层不应小于 50mm），并应使包裹的混凝土高出地面不小于 150mm。当柱脚底面在地面以上时，柱脚底面应高出地面不小于 100mm。建设场地的地面及地面以下按现行标准 GB 50046 确定的腐蚀性等级为强腐蚀、中腐蚀时，则立柱柱脚不应埋入地面以下，柱脚底面宜高出地面 300mm，弱腐蚀时可放宽至 200mm。

6.2.10 光伏支架选用直卷边槽形或卷边 Z 型的冷弯薄壁型钢时，卷边的宽厚比不宜大于 13，卷边宽度与翼缘宽度之比不宜小于 0.25，不宜大于 0.326；受压构件选用直卷边槽形或卷边 Z 型的冷弯薄壁型钢时，构件中受压板件的最大宽厚比尚应符合表 4 的规定。

表 4 冷弯薄壁型钢受压板件宽厚比限值

板件类别	钢材牌号	
	Q235 钢	Q345 钢
非加劲板件	45	35
部分加劲板件	60	50
加劲板件	250	200

6.3 连接结构设计

6.3.1 节点的设计应传力简捷，构造合理，便于加工、安装及调整；采用焊接时应避免应力集中。

6.3.2 光伏组件与支撑结构之间可选用螺栓直接连接或压码连接；檩条、斜梁、立柱间的连接可选用螺栓连接或焊接连接。连接系统的设计应遵照现行标准 GB 50017 和 GB 50429 的规定进行。

6.3.3 光伏发电系统中的螺栓宜采用不锈钢或者热浸镀锌钢材质，设计使用时应根据支架材料类型区分选用合适的螺栓材质。不锈钢螺栓根据强度等级可选择 A2-50/60/70 或者 A4-60/70/80，热浸镀锌螺栓根据强度等级可选择 4.4 级、4.8 级、5.6 级或者 8.8 级等。

6.3.4 在钢结构金属屋面和瓦屋面上安装光伏发电系统，光伏发电系统结构所承受的外力应通过连接件传递至下部结构，连接件应分别进行材料本身、材料与屋面板连接的抗拉、抗剪、抗压强度的验算，必要时可按试验确定。

6.3.5 硅酮结构密封胶的粘结宽度、粘结厚度及力学性能应符合现行标准 JGJ 102 的规定。

6.4 防腐设计

6.4.1 碳素钢和低合金高强度结构钢作为支撑结构时，宜采用热浸镀锌防腐处理，锌膜厚度应符合现行标准 GB/T 13912 的相关规定；如采用氟碳喷涂或聚氨酯喷涂的表面处理办法时，涂膜厚度应满足现行

标准 JGJ 102 中的相关规定；如采用防锈漆或其它防腐涂料时应遵照相应的技术规定。腐蚀严重地区的支架，必要时可在上述规定的基础上适当增加防腐蚀涂层厚度。铝合金型材采用阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂、氟碳漆喷涂进行表面处理时，涂膜厚度应满足现行标准 GB 5237 的规定。

6.4.2 除奥氏体型不锈钢外，光伏阵列中不同金属材料的接触部位应设置绝缘垫片或采取其他防腐蚀措施。受盐雾影响的安装区域和场所，应选择符合使用环境的材料及部件作为支撑结构或采用同一金属材料的支撑结构，并采取相应的防护措施。

7 基础设计

7.1 一般规定

7.1.1 在建筑上增设或改造光伏发电系统，应进行建筑物结构安全复核，并应满足建筑结构安全性要求。

7.1.2 支架基础设计应进行抗滑移、抗倾覆、抗拔等稳定性验算。

7.1.3 支架立柱与混凝土基础宜通过预埋件连接，预埋件的位置应定位准确；当采用其他可靠的连接措施时，应通过试验确定其承载力。

7.1.4 支架基础可采用钢筋混凝土独立基础和条形基础。基础内应设置钢筋、基础宜与建筑物主体结构锚固，且应对原建筑屋面防水进行修复处理。当不能与主体结构锚固时，应采取提高支架基础与主体结构间附着力的措施。

7.1.5 连接件与基础的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。

7.1.6 地面户用光伏并网发电系统基础设计应考虑地质条件，并参照现行标准 GB 51101 的相关要求进行设计。

7.2 建筑结构屋面承受荷载能力校核

在建筑结构计算中，新增光伏发电系统所产生的自重应计入原建筑屋面的恒荷载中，并应考虑由于新增光伏发电系统所引起的屋面永久荷载、可变荷载变化的影响，对结构进行整体的结构计算复核。

7.3 平屋面支架基础设计

7.3.1 支架基础的抗倾覆设计应按 GB 51101-2016 中 5.3.16 进行计算。

7.3.2 支架基础的抗滑移设计应按 GB 51101-2016 中 5.3.15 进行计算；摩擦系数 μ 应根据屋面表层与基础直接接触的材料材质及其表面的粗糙程度确定，必要时应通过试验确定。

7.3.3 支架基础的抗拔设计应按 GB 51101-2016 中 5.3.17 进行计算。

7.3.4 支架基础配筋应满足 GB 51101-2016 中 5.4.13 的要求。

7.4 斜屋面连接件设计

7.4.1 斜瓦木屋面宜采用抱箍、弯钩进行连接，设计时应考虑木板的厚度、木圆梁的尺寸、位置及墙体的承载能力。

7.4.2 斜瓦现浇混凝土屋面宜采用弯钩进行连接，设计时应考虑现浇混凝土楼面的厚度、下部梁的尺寸、位置及墙体的承载能力。

7.4.3 斜瓦预制混凝土屋面不宜在屋面用膨胀螺栓或化学螺栓等直接锚接，宜采用全支撑支架结构或钢夹板螺栓连接。

7.4.4 木螺钉、抱箍、膨胀螺栓等规格及数量应根据实际荷载值计算确定，必要时进行试验确定。

7.4.5 采用钢材制作抱箍、弯钩时，其设计还应符合现行标准 GB 50017 的规定，采用铝材制作抱箍、弯钩时，其设计还应符合现行标准 GB 50429 的规定。

7.4.6 彩钢瓦夹具宜采用铝合金材质；夹具应根据彩钢瓦型号进行定制设计，夹具内侧应与彩钢瓦紧密贴合并与彩钢瓦波峰进行连接；夹具设计应符合现行标准 GB 50429 的规定。

7.4.7 用螺钉连接的梯形夹具,螺钉的规格及数量应根据实际荷载值进行计算确定,螺钉应做防腐处理,打孔处应用橡胶垫等做屋面的防水处理,保证原屋面的防水功能。

7.5 埋件设计

7.5.1 埋件、锚栓连接的屋面施工完成后应对原屋面防水破坏处进行修复。

7.5.2 光伏支架基础所采用的埋件可分为预置埋件和后置埋件两种形式,现浇混凝土基础宜采用预置埋件、锚筋。

7.5.3 光伏支架基础与建筑的主体结构采用后加锚栓连接时,其设计应符合现行标准 GB 50010 的规定外且应符合下列规定:

- a) 碳素钢锚栓应经过防腐处理;
- b) 应进行锚栓承载力现场试验,必要时应进行极限拉拔试验;
- c) 每个连接节点不应少于 2 个锚栓;
- d) 锚栓直径应通过承载力计算确定,并不应小于 10mm;
- e) 不宜在与化学锚栓接触的连接件上进行焊接操作;
- f) 锚栓承载力设计值不应大于其选用材料极限承载力的 50%;
- g) 在地震设防区应使用抗震适用型锚栓。

