

团 体 标 准

T/CPIA 0047—2022

光伏柔性支架设计与安装技术导则

Guide for design and installation of photovoltaic flexible support
structures



2022-12-30 发布

2023-01-15 实施

中国光伏行业协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	2
4 基本规定	2
4.1 设计原则	2
4.2 安装原则	3
5 设计	3
5.1 荷载与作用组合	3
5.2 结构体系	5
5.3 结构设计	5
5.4 连接和节点	6
5.5 基础设计	6
5.6 接地	6
5.7 防腐	6
6 安装	7
6.1 一般规定	7
6.2 支承结构安装与校正	7
6.3 拉索安装	8
6.4 拉索张拉及索力调整	8
参考文献	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件主编单位：通威新能源有限公司、羲和电力有限公司、中国电子技术标准化研究院、通威新能源工程设计四川有限公司、国利英核、南京市光翔新能源科技有限公司、中南大学、东南大学、哈尔滨工业大学、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、北控清洁能源集团有限公司、江苏中信博新能源科技股份有限公司、湖州丽天智能科技有限公司、天合光能股份有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中电建成都铁塔有限公司、汇耀品尚能源科技有限公司。

本文件主要起草人：吴小平、翁晓军、邓霞、冯飞、计翔、裴会川、陈晓达、张霞、董英杰、张剑峰、何旭辉、敬海泉、吴京、孙瑛、王士涛、袁丙青、刘学锋、杨颖、强生官、蒋河川、杨丹丹、王永志。



光伏柔性支架设计与安装技术导则

1 范围

本文件规定了光伏柔性支架的术语和定义、设计和安装原则、荷载和作用组合、结构体系、构件设计、连接和节点、基础设计、接地、防腐、安装与校正、拉索安装、拉索张拉及索力调整等。

本文件适用于新建、扩建或改建光伏发电系统的光伏柔性支架的设计与安装。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 699 优质碳素结构钢
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- 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 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 18365 斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索
- GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分：分类、测定和评估
- GB/T 20118 钢丝绳通用技术条件
- GB/T 20492 锌-5%铝混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线
- GB/T 25823 单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线
- GB 50009—2012 建筑结构荷载规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50017—2017 钢结构设计规范
- GB 50025 湿陷性黄土地区建筑规范
- GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准
- GB 50112 膨胀土地区建筑技术规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50429 铝合金结构设计规范
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
- GB 50794 光伏发电工程施工规范
- GB 51004 建筑地基基础工程施工规范
- GB 51101—2016 太阳能发电站支架基础技术规范
- GB 55001 工程结构通用规范
- JGJ 94-94 建筑桩基技术规范
- JGJ 118 冻土地区建筑地基基础设计规范
- JGJ/T 251 建筑钢结构防腐蚀技术规程
- JGJ 257 索结构技术规程
- JGJ/T 282 高压喷射扩大头锚杆技术规程
- JG/T 330 建筑工程用索
- YB/T 152 高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线
- YB/T 4543 建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索
- YB/T 5004 镀锌钢绞线

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性支架 flexible support structure

一种基于预应力索结构体系设计的光伏组件支撑结构,由拉索构成主要构件,与传统刚性结构相比,柔性支架表现出明显的几何非线性特征。

3.2

预应力拉索结构体系 prestressed cable structure system

由一系列作为主要承重构件的拉索按一定规律布置而组成的结构体系,体系内部分或全部拉索施加预张拉力。

3.3

拉索 tension cable

由索体和锚具组成的受拉构件。

3.4

索体 cable body

拉索受力的主要部分,可为钢丝束、钢绞线、钢丝绳或钢拉杆。

3.5

初始预应力状态 initial prestressed state

索结构在预应力施加完毕后的自平衡状态。

3.6

荷载状态 loading state

索结构在外部荷载作用下的平衡状态。

3.7

阻尼减振系统 damper system

柔性支架系统中能够抑制风致振动的子系统。

4 基本规定

4.1 设计原则

4.1.1 柔性支架的选型和设计应满足环境适应性、电气安全性、外观、支架结构以及可靠性要求等,综合考虑材料供应、加工制作与现场施工安装方法,选择合理的索结构形式、支承结构,保证结构的整体刚度和稳定性。

4.1.2 光伏柔性支架设计使用年限应不低于 25 年,地基基础设计使用年限应不低于 50 年,设计等级应不低于丙级,结构安全等级应为三级,建筑光伏一体化的光伏柔性支架设计使用年限、设计等级、安全等级应与一体化建筑主体结构一致。

4.1.3 光伏柔性支架结构抗震设防类别应不低于丁类(适度设防),在地震烈度为 9 度以上地区,应进行地震安全性评价,支架应进行抗震验算。建筑光伏一体化的光伏柔性支架结构抗震设防类别应与一体化建筑主体结构一致。

4.1.4 在既有建(构)筑物上设计柔性光伏支架结构时,应鉴定既有建(构)筑物结构的承载能力。

4.1.5 组件与索体的连接应能满足组件的协同变形、抗振动及可靠性要求。

4.1.6 光伏柔性支架预应力拉索结构的预应力宜在安装组件之前施加。

4.1.7 正常使用极限状态下预应力索结构的挠度不宜大于跨度的 1/50 且组件的变形应在机械荷载试验允许的弹性范围内。

4.1.8 在单根拉索破断的情况下,柔性支架结构应能保持整体稳定性,不应发生连续倒塌或连续破坏而造成生命财产的严重损失。

4.1.9 必要时,可对组件的抗振动性能进行检测;激振试验的频率、振幅及激振次数应结合柔性支架

的动力特性和当地风参数确定。

4.1.10 在土地复合利用场景下,光伏柔性支架各工况下均应能保证净空满足下方设施及产业的正常运行。

4.2 安装技术原则

4.2.1 光伏柔性支架施工安装应符合 GB 50205、GB 51004、GB 50794、JGJ 257 等的规定,以及施工工序、工艺等相关要求。

4.2.2 光伏柔性支架施工现场质量管理应有相应的施工技术标准、质量管理体系、质量控制及检验制度,施工组织设计、施工方案等技术文件应经项目技术负责人审批通过。

4.2.3 光伏柔性支架施工质量的验收应采用经计量检定、校准合格的计量器具。

5 设计

5.1 荷载与作用组合

5.1.1 风荷载

5.1.1.1 垂直作用于光伏支架结构或光伏组件表面的风荷载标准值应按以下规定确定:

a) 计算结构构件时,风荷载标准值应按公式(1)计算:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ω_k ——风荷载标准值,单位为千牛每平方米(kN/m²);

β_z ——高度 z 处的风振系数,由于柔性支架风场的干扰特性及风响应的特殊性,宜通过风洞试验确定;考虑非线性效应的柔性光伏支架预应力拉索结构应力分析宜采用位移风振系数;且其值不应小于 1.2;

μ_s ——风荷载体型系数,由于柔性支架风场的干扰特性及风响应的特殊性,宜通过风洞试验确定也可按 NB/T 10115 取值;

μ_z ——风压高度变化系数,可按 GB 50009—2012 取值;对于地面光伏支架可取光伏板顶端高度;

ω_0 ——基本风压,单位为千牛每平方米(kN/m²);可按 GB 50009—2012 取值;

b) 计算光伏组件时,风荷载标准值可参考 GB 50009—2012 或 NB/T 10115 计算;

c) 对于处在山坡上的光伏支架,风压高度变化系数除应按 GB 50009—2012 和 GB 55001 中平坦地面的粗糙度类别确定外,尚应进行地形条件的修正。

d) 垂直作用于光伏支架结构或光伏组件表面的风荷载标准值应按 5.1.1.1 的规定确定;也可参考风洞测试报告、有关研究资料进行合理取值。

5.1.1.2 当遭受本项目设计风速的极端天气影响时,柔性支架应不倒塌,不发生危及支架和组件结构安全的风致振动。

5.1.2 雪荷载

5.1.2.1 作用于光伏支架水平投影面上的雪荷载标准值应按 GB 50009—2012 的规定确定。

5.1.2.2 预应力索结构的雪荷载应不低于 25 年重现期确定基本雪压。当雪荷载重现期取 25 年时,基本雪压应按 GB 50009—2012 附录 E.1 中规定的方法进行计算。

5.1.2.3 山区的雪荷载应通过实际调查后确定。当无实测资料时,可按 GB 50009—2012 的要求取值。

5.1.2.4 在山坡等复杂地势下,相邻排的组件存在高度差时,应充分考虑可能遭受的滑落雪荷载和风致飘移雪荷载影响。

5.1.2.5 地基基础及锚固设施设计时,雪荷载应按不低于 50 年重现期确定。

5.1.3 作用组合

5.1.3.1 光伏支架结构设计时,应按承载能力极限状态计算结构和结构构件的强度、稳定性以及连接强度;按正常使用极限状态计算结构和结构构件的变形。

5.1.3.2 结构或结构构件按承载力极限状态设计时，应采用荷载的基本组合或偶然组合计算荷载效应设计值，当不考虑抗震组合时，并按公式(2)进行设计：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \dots\dots\dots (2)$$

式中：

γ_0 ——结构重要性系数，不应小于 0.9；

S_d ——作用组合的效应标准值，如变形、裂缝等，宜根据荷载组合采用有限元非线性方法计算得到的荷载效应获得；

R_d ——结构或结构构件的抗力设计值；在抗震设计时应除以承载力抗震调整系数 γ_{RE} ， γ_{RE} 应按 GB 50011 的规定取值。

5.1.3.3 当考虑抗震组合时，并按公式(3)进行设计：

$$S_d \leq \frac{R_d}{\gamma_{RE}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_d ——荷载组合作用下的效应设计值，宜根据荷载组合采用有限元非线性方法计算获得；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，对于延性破坏，取 0.75，对于脆性破坏，取 0.85。

5.1.3.4 结构或构件按正常使用极限状态设计时，应符合公式(4)的要求：

$$S_d \leq C \dots\dots\dots (4)$$

式中：

S_d ——作用组合的效应标准值，如变形、裂缝等，宜根据荷载组合采用有限元非线性方法计算得到的荷载效应获得；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值。

5.1.3.5 非抗震设计时，并按公式(5)计算荷载基本组合，取其不利值：

$$S_d = S(\gamma_G G_K + \gamma_P P_K + \gamma_W \Psi_W W_K + \gamma_S \Psi_S S_K + \gamma_T \Psi_T T_K) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

S_d ——荷载组合作用下的效应设计值；

G_K ——永久荷载标准值，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

P_K ——预应力作用标准值，以张拉后的有效索力为代表值；

W_K ——风荷载标准值，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

S_K ——雪荷载标准值，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

T_K ——温度荷载标准值，单位为摄氏度(°C)；

γ_G ——永久荷载的分项系数，可取 1.3；

γ_P ——预应力作用的分项系数，可取 1.0；

γ_W 、 γ_S 、 γ_T ——风荷载、雪荷载、温度荷载的分项系数，可取 1.5；当可变荷载对结构受力有利时取 0；

Ψ_W 、 Ψ_S 、 Ψ_T ——风荷载、雪荷载、温度荷载的组合值系数，风荷载为主导可变荷载时，风荷载组合值系数可取 1.0，当风荷载为次要可变荷载时，其组合值系数为 0.6；当其它可变荷载为次要可变荷载时，其组合值系数为 0.7。

5.1.3.6 当抗震设防烈度大于 9 度(含)时，应进行抗震验算，并按公式(6)式计算荷载基本组合，取其不利值：

$$S_d = S(\gamma_G G_K + \gamma_P P_K + \gamma_{Eh} E_{hK} + \gamma_W \Psi_W W_K) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

E_{hK} ——水平地震作用标准值；

γ_{Eh} ——水平地震作用的分项系数，应取 1.4；

γ_W ——风荷载的分项系数，可取 1.5；当可变荷载对结构受力有利时取 0；

Ψ_W ——风荷载的组合值系数，应取 0.2。

5.1.3.7 结构或结构构件按正常使用极限状态设计时，荷载效应采用标准组合，可按本文件中公式(5)计算，各荷载分项系数宜取 1.0；计算地基变形时，传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久值组合。

5.1.3.8 光伏支架设计时，宜对施工及检修阶段进行验算，应符合下列规定：

- a) 柔性支架通常高于固定支架，施工检修方式不同于固定支架，其施工检修荷载建议取 3 kN，也可按实际荷载取用并作用于支架最不利位置；
- b) 进行光伏支架构件施工检修荷载承载力验算时，荷载组合应取永久荷载和施工检修荷载进行组合；永久荷载分项系数可取 1.0，施工检修荷载的分项系数可取 1.4；
- c) 变形验算时，荷载组合应取永久荷载和施工检修荷载进行组合，永久荷载分项系数均取 1.0。

5.2 结构体系

5.2.1 结构体系：

- a) 柔性支架结构体系可由预应力拉索结构、支承系统、锚锭系统及阻尼减振系统等组成。
- b) 柔性支架预应力拉索结构由一系列作为组件安装及承载的拉索按照一定规律布置而组成，包括单层索系，双层索系、索网等。
- c) 拉索的锚锭系统应根据具体情况采用包括但不限于重力锚、盘形锚、蘑菇形锚、摩擦桩、拉力桩、阻力墙等类型。
- d) 柔性支架组件宜采用单排纵置或者单排横置。

5.2.2 结构分析原则：

- a) 柔性光伏支架结构宜按空间结构进行整体分析，应考虑结构几何非线性。结构分析模型和基本假定应与构件连接的实际构造相符合。
- b) 柔性支架的支承系统应能抵抗不同工况下及施工各阶段相邻跨间的不均衡力。

5.3 结构设计

5.3.1 结构构件的设计：

- a) 柔性支架结构的构件应进行强度、稳定和变形计算，除应符合本文件外，尚应符合现行国家标准的有关规定。
- b) 柔性支架结构的构件及其连接件可采用钢材、铝合金和钢筋混凝土、FRP 等材料。材料及连接设计指标应符合现行国家标准的有关规定。
- c) 柔性光伏支架结构构件选用宜符合下列规定：
 - 1) 拉索索体可采用钢丝束、钢绞线、钢丝绳或钢拉杆或能够支持光伏系统的其它材料；
 - 2) 拉索的质量、性能应符合 GB/T 5224、GB/T 18365、GB/T 20118、GB/T 20492、GB/T 25823、JG/T 330、YB/T 152、YB/T 4543、YB/T 5004 的规定；
 - 3) 锚具宜采用可以进行多次张拉的成品锚具，质量、性能应符合 GB/T 13912、GB/T 14370、GB 50429 的规定；承受低应力或动荷载的夹片锚具应有防松装置；
 - 4) 索具及锚锭系统的斜拉构件应具备长度（拉力）调节功能。

5.3.2 拉索的设计：

- a) 主索的抗拉力设计值应按公式(7)计算：

$$F = \frac{F_{tk}}{\gamma_R} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

F ——主索的抗拉力设计值，单位为千牛（kN）；

F_{tk} ——主索的极限抗拉力标准值，单位为千牛（kN）；

γ_R ——主索的抗力分项系数应按 JGJ 257—2012 中 5.6.1 进行计算。

- b) 预应力拉索结构应分别进行初始预拉力及荷载作用下的计算分析，计算中均应考虑几何非线性影响。
- c) 预应力拉索结构的荷载状态分析应在初始预应力状态的基础上考虑永久荷载与活荷载、雪荷载、风荷载、地震作用、温度作用的组合，并应根据具体情况考虑施工安装荷载，索截面及节点设计应采用荷载的基本组合，位移计算应采用荷载的标准组合。

- d) 预应力拉索结构计算时,应考虑其与支承结构的相互影响,宜采用包含支承结构的整体模型进行分析。
- e) 在永久荷载控制的荷载组合作用下,预应力拉索结构中的索不应松弛;在可变荷载控制的荷载组合作用下,预应力拉索结构不应因个别索的松弛而导致结构失效。
- f) 对于使用中需要更换拉索的情况,在计算和节点构造上应作专门处理。
- g) 当钢绞线弯折使用时,应根据偏斜拉伸试验结果,对钢索破断力降额使用。

5.4 连接和节点

- 5.4.1 预应力拉索结构节点构造应符合计算假定,应做到传力路线明确、确保安全并便于制作和安装。
- 5.4.2 预应力拉索结构节点的钢材及节点连接件材料应按 GB 50017—2017 的规定选用。节点采用锻造、锻压、铸造或其他加工方法进行制作时,其材质应按 GB/T 699、GB/T 1591 的有关规定选用。
- 5.4.3 预应力拉索结构节点的承载力和刚度应按 GB 50017—2017 的验算。
- 5.4.4 预应力拉索结构主要受拉节点宜采用对接焊缝,焊缝应当满焊,焊缝质量等级应为一级。采用角焊缝时,须正确设计角焊缝的焊脚、焊缝长度及焊缝形式,严格控制焊缝工艺,严禁采用断续角焊缝。
- 5.4.5 预应力拉索结构节点的构造设计应考虑施加预应力的方式、结构安装偏差及必要时进行二次张拉的可能性。
- 5.4.6 索体在夹具中不应滑移,夹具与索体之间的摩擦力应大于夹具两侧索体的索力之差,并应采取措施保证索体防护层不被挤压或者剪切损坏。
- 5.4.7 拉索与光伏组件的连接节点除应满足光伏组件的安装要求外,还应采用防松措施。

5.5 支架基础设计

柔性支架基础设计包括以下要求:

- a) 光伏柔性支架基础可采用独立基础、条形基础、桩基础、岩石锚杆基础、锚杆扩大头基础等。
- b) 光伏柔性支架基础应进行承载力验算和稳定性验算,包括竖向承载力验算、基础结构强度验算、地基变形验算及稳定性验算等。
- c) 水上光伏柔性支架基础还应综合考虑水深、淤泥层厚度、抗冻胀性、波浪力、水流速、地震力、水土腐蚀性等因素。
- d) 岩土工程勘察报告应满足柔性支架的设计要求,应根据设计单位提供的岩土工程勘察委托书进行勘察设计。
- e) 桩基础宜选择有代表性的场地进行原位试验,工程桩进行单桩竖向承载力、水平力和桩身完整性试验检测时,应符合 GB 50202 和 JGJ 106 的相关规定:
 - 1) 微型短桩的质量检验应符合 GB 51101—2016 的相关规定;
 - 2) 地质情况较复杂时,应扩大边锚桩的检测数量。
- f) 锚杆扩大头基础宜选择有代表性的场地进行原位试验,工程锚杆扩大头基础进行抗拔承载力试验,检测应符合 JGJ/T 282 的规定。
- g) 地基计算应符合 GB 50007、GB 51101、NB/T 10115 的规定。
- h) 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,地基基础的设计尚应符合 GB 50007、JGJ 94—94、GB 50025、JGJ 118、GB 50112 的规定。

5.6 接地

柔性支架接地要求如下:

- a) 光伏方阵场地内应设置接地网,接地网除应采用人工接地极外,还应充分利用支架基础的金属构件。
- b) 接地应连续、可靠,接地电阻应满足规范要求。
- c) 在既有建筑物上增设柔性支架,必须进行电气的安全复核,并应满足建筑电气的安全性要求。

5.7 防腐

支架结构及基础防腐要求如下:

- d) 支架结构及基础防腐根据材质应按照 GB/T 50476、GB/T 50046 和 JGJ/T 251 的相关规定设计。

- e) 锚具应采取可靠的封闭防锈措施，并保障防锈措施的耐候性能。
- f) 大气腐蚀环境 C4 及以上地区（如沿海高盐雾地区、水上光伏高湿热地区、污水处理厂等），钢索宜采用热镀锌铝稀土合金涂层或环氧树脂涂层等加强保护，对应的大气腐蚀环境等级可按 GB/T 19292.1 相关规定确定。
- g) 光伏组件表面进行水清洗维护时，应采用对支架结构无腐蚀作用的清洗液，水质应满足清洁水的要求。

6 安装

6.1 一般规定

- 6.1.1 光伏柔性支架的运输与安装应按施工组织设计进行，运输与安装程序必须保证结构的稳定性，并不得导致永久性变形。
- 6.1.2 光伏柔性支架安装前，应对构件的外形尺寸，螺栓孔位置及直径、连接件位置、焊缝、摩擦面处理、防腐涂层等进行详细检查，对构件的变形、缺陷，应在地面进行矫正、修复，合格后方可安装。
- 6.1.3 光伏柔性支架安装过程中，现场进行制孔、焊接、组装、涂装等工序的施工应符合 GB 50205 的相关规定。
- 6.1.4 光伏柔性支架构件在运输、存放、吊装过程损坏的涂层，应先补涂底漆，再补涂面漆。
- 6.1.5 光伏柔性支架在吊装前应清除表面上的油污、泥渍、冰雪等杂物。
- 6.1.6 焊接作业要严格按照图纸设计要求施工，设计要求的一、二级焊缝应进行内部缺陷的无损检测，一、二级焊缝的质量等级和检测要求应符合 GB 50205 的相关规定。
- 6.1.7 拉索、拉杆、锚具的品种、规格、性能应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。拉索、拉杆、锚具进场时，应按国家现行标准的规定抽取试件且应进行屈服强度、抗拉强度、伸长率和尺寸偏差检验，检验结果应符合国家现行标准的规定。

6.2 安装与校正

- 6.2.1 光伏柔性支架安装前应对基础的定位轴线，基础轴线及标高，地脚螺栓位置进行检查，并应进行基础复测和与基础施工方办理交接验收。
- 6.2.2 支架柱脚的锚栓应采用可靠方法定位，支架的平面尺寸除应测量直角边长外，尚应测量对角线长度。在支架安装前，均应校对锚栓的空间位置，确保基础顶面的平面尺寸和标高符合设计要求。
- 6.2.3 基础顶面直接作为柱的支撑面和基础顶面预埋钢板或支座作为柱的支撑面时，支撑面、地脚螺栓（锚栓）的偏差不应大于表 1 中的规定。

表 1 规定允许偏差

单位为毫米

项目		允许偏差	
支撑面	标高	螺旋桩、预应力管桩	±30
		灌注桩	0, -10
		扩展式基础	0, -10
	水平度		L/1000
地脚螺栓	螺栓中心偏差		±5.0
	螺栓露出长度		+20, 0
	螺纹长度		+20, 0
预留孔中心偏差		±10.0	
注：L为柱脚底板的最大平面尺寸。			

6.2.4 光伏柔性支架在安装过程中，应根据设计和施工工况要求，采取措施保证结构各阶段的整体稳固性。

6.2.5 主要部件的安装应符合下列规定：

- a) 安装顺序宜先从有柱间支撑的刚架开始，在刚架安装完毕后应将其间的拉索、支撑等全部安装好，并检查其垂直度、拉索的初始状态垂度，以此为起点向其他方向安装；
- b) 支架安装宜先立柱子，将在地面组装好的钢梁吊装就位，并与立柱相连接；
- c) 对跨度大、侧向刚度小的构件，在安装前要确定构件重心，应选择合理的吊点位置和吊具，对重要的构件和细长构件应进行吊装前的稳定性验算，并根据验算结果进行临时加固，构件安装过程中宜采取必要的牵拉、支撑、临时连接措施；
- d) 在安装过程中，应减少高空安装工作量。在起重设备能力允许的条件下，宜在地面拼装成扩大安装单元，对受力大的部位宜进行必要的固定，可增加铁扁担、滑轮组等辅助手段，应避免盲目冒险吊装；
- e) 对大型构件的吊点应进行安装验算，使各部位产生的内力小于构件的承载力，不至于产生永久变形。

6.3 拉索安装

6.3.1 施工前应对索体、锚具及零配件的出厂报告、产品质量保证书、检测报告以及品种、规格、色泽、数量进行验收。在室外堆放拉索时应采取保护措施，损坏的索体应更换，受损的非承载部件应进行修补。

6.3.2 施工前应对支承结构或边缘构件上用于拉索锚固的锚板、锚栓、孔道等的空间坐标、几何尺寸及倾角等，进行检查验收，验收合格后方可进行预应力拉索结构安装。

6.3.3 预应力拉索结构制作、安装、张拉所用设备与仪表应在有效的计量标定期内。

6.3.4 锚具及其他连接部件涂装前，应去除锈斑，打磨光滑，确保连接处无毛刺、棱角。

6.3.5 放索时，拉索应放在索盘支架上，以保证安全。牵引绳与索体之间宜采用旋转连接器连接，以便消除各种情况下的回转力矩。

6.3.6 拉索两锚固点间距的允许偏差不宜大于 20 mm。

6.3.7 拉索的安装工艺应满足整体结构对索的安装顺序和初始态索力的要求，并应计算出每根拉索的安装索力和伸长量。

6.3.8 在户外作业时，宜在风力不大于四级的情况下进行。在安装过程中应注意风速和风向，应采取安全防护措施避免拉索发生过大摆动。有雷电时，应停止作业。

6.3.9 索夹安装时，应满足各施工阶段索夹拼装螺栓的拧紧力矩要求。

6.4 拉索张拉及索力调整

6.4.1 拉索张拉前应进行预应力施工全过程模拟计算，计算时应考虑拉索张拉过程对预应力结构的作用及对支承结构的影响，应根据拉索的预应力损失情况确定适当的预应力超张拉值。

6.4.2 张拉前应对张拉系统的设备和仪表进行标定，千斤顶与压力表应配套标定，并配套使用。标定期限不得超过 6 个月。标定时应由千斤顶主动项加载试验设备，并应绘出图表供现场使用。标定应在具有检测条件和资质的单位进行，并出具相应的检测报告。

6.4.3 拉索张拉前应对结构和周围环境进行检查，检查结构安装完成的构件、支撑胎架的位置、胎架与结构的连接形式、支座的固定形式等应与施工全过程模拟计算的模型相一致。索张拉施工环境温度应符合设计要求，如无法满足时应采取相应的温度补偿措施。

6.4.4 拉索张拉应遵循分阶段、分级、对称、缓慢匀速、同步加载的原则。

6.4.5 拉索张拉前应确定以索力控制为主，结构位移控制为辅的原则。对结构重要部分宜同时进行索力和位移双控制；并应规定索力和位移的允许偏差。

6.4.6 拉索张拉过程中应检测并复核拉力、实际伸长量和油缸伸出量，每级张拉时间不应少于 0.5 min，并应作好记录。记录内容包括：日期、时间、环境温度、索力、索伸长量和结构位移的测量值。

6.4.7 采用张拉设备施加预应力时，其作用点形心应经过拉索轴线。

6.4.8 拉索张拉时可直接用千斤顶与经标定的配套压力表监控拉索的张拉力，也可用其他测力装置同步监控拉索的张拉力。

- 6.4.9 拉索各阶段张拉后，应检查张拉力、拱度及挠度，并使之符合相应的设计要求。设计未明确时，张拉力允许偏差按不大于设计值的 10 %控制，拱度及挠度允许偏差按大于设计值的 5 %控制。
- 6.4.10 斜拉结构的拉索安装应考虑立柱、钢架等支撑结构与被吊挂结构的变形协调以及结构变形对索力的影响，施工时应以结构关键点的变形量及索力作为主要施工监控内容。
- 6.4.11 在索力、位移调整完成后，对于钢绞线拉索的夹片锚具应采取防松措施，使夹片在低应力状态下不致松动。对钢丝拉索端的连接螺纹应检查螺纹咬合丝扣数量和螺母外露丝扣长度是否满足设计要求，并应在螺纹上加装防松装置。



参 考 文 献

- [1] GB 50011 建筑抗震设计规范
 - [2] NB/T 10115 光伏支架结构设计规程
-

