

T/HAS

团体标准

T/HAS 157—2025

光伏直流系统柔性架构施工技术规范

2025 - 09 - 09 发布

2025 - 09 - 09 实施

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 施工准备 .....	3
5 柔性架构施工 .....	3
6 水上作业技术措施 .....	7
7 质量验收 .....	8
8 安全和职业健康 .....	8

## 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。

本文件由河南省标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：中国建筑第八工程局有限公司、中建八局发展建设有限公司、中建国际城市建设有限公司、北京志刚筑力科技有限公司、郑州市政集团有限公司、郑州航空工业管理学院、河南省金华夏建工集团股份有限公司、河南省达硕工程检测实验有限公司、河南建威工程管理咨询有限公司、河南助安建筑科技有限公司、河南省景泰建筑工程有限公司、中众（河南）工程建设有限公司、河南万为项目咨询管理有限公司、河南臻居建筑工程有限公司、河南万安城建集团有限公司。

本文件主要起草人：张华洋、高永强、郁风风、时红亮、刘胜欢、王鹏、牛真、李宁、陈忠天、李艳龙、赵志刚、杨文科、申子需、魏新华、詹二立、许文博、邓德强、姚卫涛、左素丽、师刘岗、刘保萍、王义超、范彪、高利娟、刘振洪、陈学翰、李威风、苏盼伟、巴广宇、赵志欣、吕新奇、王帅、陈航、余志勇、赵天航、陈瑞、何俊、李钵、王鹏飞、杨一鸣、刘力。

# 光伏直流系统柔性架构施工技术规范

## 1 范围

本文件规定了光伏直流系统柔性架构施工的施工准备、柔性架构施工、水上作业技术措施、质量验收、安全和职业健康。

本文件适用于光伏直流系统柔性架构安装施工。

## 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 2894 安全色和安全标志
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- 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 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50212 建筑防腐蚀工程施工规范
- GB 50794 光伏发电站施工规范
- GB 51004 建筑地基基础工程施工规范
- DL 5009（所有部分） 电力建设安全工作规程
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JGJ 257 索结构技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 柔性架构

一种光伏系统直流侧结构体系，利用高强度索通过预张力作为主要承力结构，来支撑光伏组件阵列传递的重力及风、雪、地震等外部荷载，并将力传递至钢索边界支承结构，从而实现大跨度的光伏布置。

### 3.2

#### 边桩

位于光伏阵列边缘的竖向支撑桩，用于固定边梁及抵抗周边锚杆或拉索传递的荷载，是结构边界的主要受力构件。如图1所示。

### 3.3

#### 中桩

布置在光伏阵列内部区域的竖向支撑桩，用于支撑中梁及传递竖向荷载至地基的桩基构件，与边桩共同构成整体稳定性。如图1所示。

### 3.4

#### 稳定桩

为增强柔性架构系统整体稳定性而设置的辅助桩基础，通常布置在边角、地形突变处（如斜坡拐点）或荷载集中区域（如大型组件阵列边缘）。如图1所示。

### 3.5

#### 边锚杆

布设于光伏柔性架构边桩附近，用于与拉索系统连接并锚固于地基的杆状构件。如图1所示。

### 3.6

#### 边梁

沿柔性光伏架构边部布置的纵向承载构件，用于连接边桩、边锚杆及拉索节点。如图1所示。

### 3.7

#### 中梁

位于光伏阵列内部、平行于边梁的纵向梁体，用于支撑中部光伏组件并分散荷载至中桩。如图1所示。

### 3.8

#### 承重索 C3

布置于每排光伏组件下的横向承载索，用于承受组件的重力。如图2所示。

### 3.9

#### 上支承索 C1、下支承索 C2

分别布置于每排光伏组件下侧两头的横向承载索，用于支承组件使其形成一定的俯仰角度。如图2所示。

### 3.10

#### 上抗风索 C4、下抗风索 C5

跨中布置的纵向索，用于承受水平风力的作用。如图2所示。

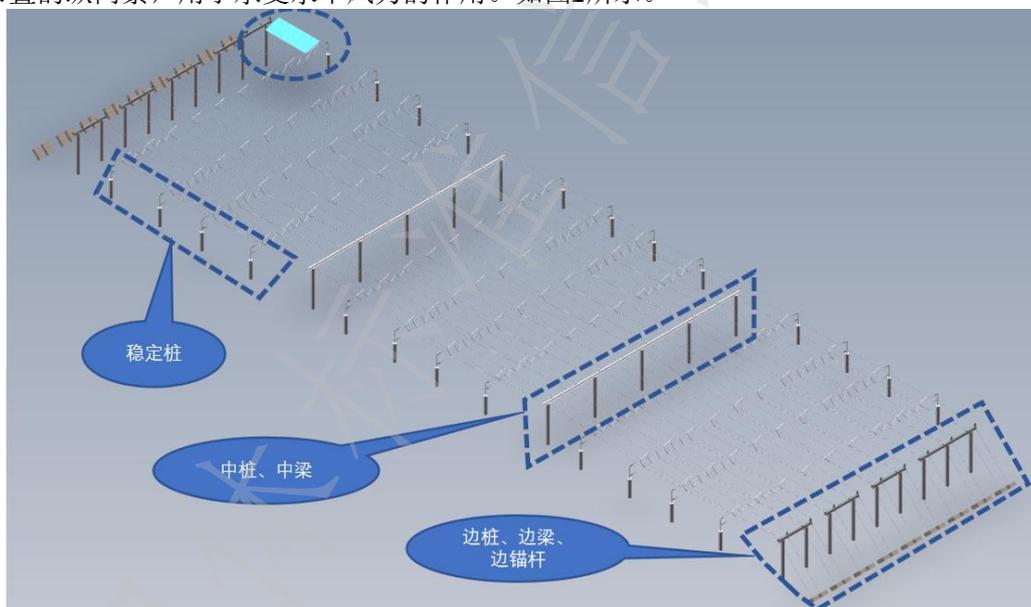


图1 边桩、边梁、边锚索、中桩、中梁、稳定桩

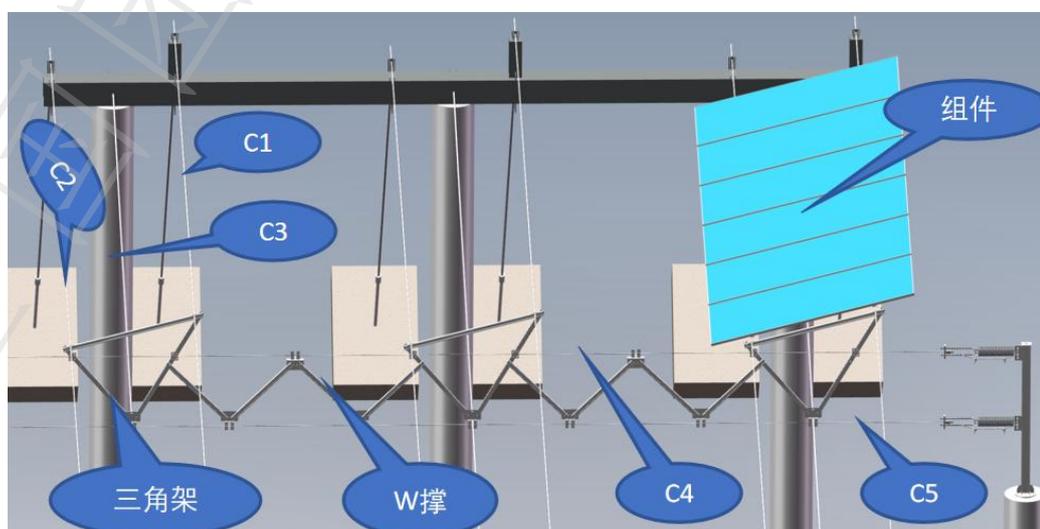


图2 C1-C5 示意图

## 4 施工准备

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 柔性架构的运输与安装应按施工组织设计与专项施工方案进行，运输与安装应保证结构的稳定性，并不得导致永久性变形。
- 4.1.2 柔性架构安装前，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，应在地面按照设计要求进行矫正、修复，合格后方可安装。
- 4.1.3 柔性架构安装过程中，现场进行制孔、焊接、组装、涂装等工序的施工应符合 GB 50205 的要求，金属焊缝与连接件应按照 GB/T 13912 的要求进行防腐处理，环氧富锌底漆涂层厚度应满足相关要求。
- 4.1.4 柔性架构构件在运输、存放、吊装过程损坏的涂层，应先清理损坏部分，之后补涂底漆，再补涂面漆。
- 4.1.5 柔性架构在吊装前应清除表面上的油污、泥渍、冰雪等杂物。
- 4.1.6 柔性架构系统施工应按照 GB 50205、GB 51004、GB 50794、JGJ 257、GB 50212 的要求进行施工组织与质量控制。
- 4.1.7 桩基施工应符合 JGJ 94 的要求。

### 4.2 技术准备

- 4.2.1 应完成施工图纸和技术方案的制定，明确所有技术参数和施工细节。
- 4.2.2 应对施工过程中的关键技术环节进行预研究和试验，如光伏板的安装方法、柔性架构的安装方法、变直径扩大锚杆的施工方法、桩基施工的测量控制方法以及桥架安装方法等。
- 4.2.3 应组织开展项目技术策划，完成项目的设计和技术方案制定，包括架构桩基布局、光伏板布局、电气系统设计、集电线路布局、柔性索分段布局等。
- 4.2.4 应准备详细的施工图纸，包括光伏阵列的安装图纸、电气接线图、架构结构图、桥架结构图、防雷接地图等。编制施工说明书和操作指南，为施工人员提供清晰的施工步骤和注意事项。
- 4.2.5 应进行方案交底与技术交底。组织项目管理人员开展培训，培养具有柔性架构结构施工、电气安装等专业技能的施工人员。
- 4.2.6 应制定施工方法和工艺流程，包括光伏板的安装方法、电缆敷设方式、架构安装方法、柔性架构桩基施工方法、光伏板的安装方法等。
- 4.2.7 应制定质量控制和检测计划，包括材料检测、施工过程检查、系统性能测试等。

### 4.3 材料和设备准备

- 4.3.1 应根据项目设计和施工图纸，编制详细的材料清单。应确定材料的技术参数和质量要求，确保材料符合国家和行业标准，质量保证书齐全。
- 4.3.2 应建立材料仓库，对材料进行分类储存和妥善保管。确保材料储存条件适宜，防止材料受潮、腐蚀、损坏等。
- 4.3.3 应制定材料物流计划，确保材料从供应商到施工现场的运输和配送。选择合适的运输方式和路线，降低运输成本和时间。
- 4.3.4 应根据施工进度和需求，制定材料使用计划，合理安排材料的使用和消耗。确保材料供应与施工进度相匹配，避免材料积压或短缺。
- 4.3.5 在施工现场，应对设备进行调试和测试，确保设备能够正常工作。对设备进行必要的维护和保养，确保设备性能稳定。
- 4.3.6 应对操作人员进行设备操作培训，确保能够熟练掌握设备的操作方法和技巧。培训内容包括设备的使用、维护、故障排除等。

## 5 柔性架构施工

### 5.1 边梁和边锚安装

### 5.1.1 边梁安装

- 5.1.1.1 安装边梁横梁前，需依据项目设计和施工图纸准确区分西边梁与东边梁，以及两侧边梁的不同型号。
- 5.1.1.2 应根据项目设计和施工图纸，采用边梁连接两根相邻边桩，南北向间距应符合图纸要求。
- 5.1.1.3 两边立柱对应索的安装孔位中心偏差应不大于 $\pm 30$  mm。
- 5.1.1.4 C1 索、C2 索的安装孔位间距均为排间距 $\pm 10$  mm。
- 5.1.1.5 基、桩顶标高应保持一致，高度方向偏差控制在 $\pm 10$  mm 以内。

### 5.1.2 边锚安装

#### 5.1.2.1 边锚桩顶连接件安装

边锚桩桩位中心偏差不大于 $\pm 30$  mm。边锚桩顶连接件与边锚桩顶端板采用中对中焊接方式，中心位置偏差控制在 $\pm 10$  mm 以内。

#### 5.1.2.2 边锚杆安装

边锚杆长度应根据现场实际地形放样裁切，边锚桩与边锚杆、边梁与边锚杆应采用U型连接件连接。张拉角度误差应控制在东西/南北方向 $2^\circ$ 之内。

#### 5.1.2.3 张拉边锚

通过U型连接件、销轴、开口销、钢筋螺母将边锚杆与边梁耳板、桩顶耳板连接就位并安装牢固。边锚杆张拉时需双向对称张拉，避免构件因受力不均产生变形。

### 5.2 中梁安装

- 5.2.1 安装中梁前应区分边跨中梁与中跨中梁，按设计要求安装。
- 5.2.2 边跨/中跨中梁对应的两个中桩的水平位置偏差不应大于 $\pm 30$  mm。
- 5.2.3 边跨/中跨中梁对应的两个中桩，桩顶标高在高度方向偏差 $\pm 10$  mm。
- 5.2.4 边跨/中跨中梁与桩顶板的焊接应符合设计要求。
- 5.2.5 基、桩顶标高一致，高度方向偏差 $0$  mm $\sim 10$  mm。

### 5.3 桁架稳定端与稳定锚安装

#### 5.3.1 南北稳定端装配体安装

- 5.3.1.1 稳定立柱应处于铅直状态，与竖直线偏差不超过 $1/500$ 。
- 5.3.1.2 稳定立柱底板与稳定桩顶端板中对中焊接，中心位置偏差 $\pm 10$  mm。
- 5.3.1.3 稳定立柱底板与稳定桩顶端板的焊接应采用 $8$  mm 角焊缝满焊，外观质量等级三级。

#### 5.3.2 稳定锚桩顶连接件安装

- 5.3.2.1 稳定锚桩桩位中心偏差不应大于 $\pm 30$  mm。
- 5.3.2.2 稳定锚桩顶连接件与稳定锚桩顶端板中对中焊接，中心位置偏差 $\pm 10$  mm。

#### 5.3.3 南北稳定锚杆安装

- 5.3.3.1 长度应根据地形放样裁切，与稳定锚桩、南北稳定端装配体用U型连接件连接。
- 5.3.3.2 张拉角度误差应控制东西/南北角度 $2^\circ$ 之内，钢筋连接器连接位置应符合设计要求。

#### 5.3.4 张拉南北稳定锚

将稳定锚杆与稳定柱耳板、桩顶耳板连接后张紧，应确保连接牢固。

### 5.4 钢绞线安装

#### 5.4.1 钢绞线的散料

- 5.4.1.1 应按从东往西、从南往北的方向散料，顺序为：下抗风索（C5 索） $\rightarrow$ 承重索（C3 索） $\rightarrow$ 上抗风索（C4 索） $\rightarrow$ 上支承索（C1 索）、下支承索（C2 索）。

5.4.1.2 散料时材料保护层不应磨损，无变形和弯折，应做好安装位置标记。

5.4.1.3 稳定桩之间跨度小的区域，每个方阵最北和最南两个光伏阵列不安装 C3 索。

#### 5.4.2 C1、C2 索安装

5.4.2.1 边梁处安装挤压锚，钢绞线外露夹片锚具长度不应低于 200 mm，应使用同规格防松夹片锚具。

5.4.2.2 中梁处 H 型钢上翼缘板螺栓孔与垫板、盖板螺栓孔对齐，盖板凹槽与中梁 H 型钢垂直，采用螺栓组连接。

5.4.2.3 张拉要求如下：

- a) 两端同时张拉至预紧力，应使用两路双回路油泵与液压千斤顶设备；
- b) 张拉完毕后拧紧中梁盖板处螺栓，用绳索张力仪检查预张力，未达要求时再次张拉。

#### 5.4.3 C3 索安装

5.4.3.1 安装 C3 索时，边梁处应安装挤压锚，钢绞线外露夹片锚具长度应不低于 200 mm，应使用同规格防松夹片锚具。

5.4.3.2 中梁处螺栓孔应对齐，盖板凹槽应垂直，垫板斜面朝向与索方向应相同，不等跨区域应按要求连接。

5.4.3.3 安装时钢绞线不应变形、弯折，固定前中梁盖板处螺栓进行初拧，保证索能活动，单跨垂跨比控制在 1/25 以内。

### 5.5 三角撑安装

#### 5.5.1 现场拼装

5.5.1.1 按西侧边三角撑、东侧边三角撑、中三角撑分类拼装，使用相应的装配体和零件。

5.5.1.2 拼装时螺栓孔为腹板孔，C 型钢之间、L 型折板与 C 型钢处均用螺栓连接，不等跨竖杆与三角撑连接采用螺栓。

5.5.1.3 支撑杆件背靠背安装，L 型折板短边与 C 型钢开口方向一致，螺栓初拧后终拧至预紧力，避免滑丝。

#### 5.5.2 安装至 C1、C2 索

5.5.2.1 安装前定位桁架位置，每跨内有 2 个中部桁架及 2 个边部桁架。

5.5.2.2 桁架与索连接时，C1/C2 索抱箍螺栓孔与桁架 C 型钢支撑上侧翼缘螺栓孔对齐，用螺栓连接。

5.5.2.3 三角撑安装时保证下侧较短斜杆位于南侧。

5.5.2.4 安装示意图如图 3 所示。

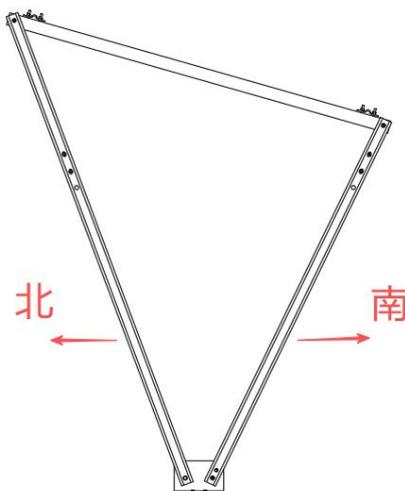


图 3 三角撑安装示意图

### 5.5.3 安装至 C3 索

5.5.3.1 桁架与 C3 索连接时，L 型折板下侧螺栓孔与 L 形连接板螺栓孔应对齐，用螺栓连接，螺杆朝上。

5.5.3.2 每列三角撑处于同一平面呈直线且与 C1 索、C2 索垂直，安装顺序从边横梁侧从南往北、从西往东。

5.5.3.3 拼装时应锁紧三角撑，与 C1 索、C2 索连接螺栓锁紧，与 C3 索连接处进行初拧，保证索有活动空间。

### 5.6 C4、C5 索及桁架连杆安装

#### 5.6.1 C4 索安装

5.6.1.1 安装前排布已安装的三角撑，用螺栓将 C4 索桁架抱箍与边/中三角撑相连，不等跨情形连接 C4/C5 索抱箍与不等跨边/中竖杆。安装示意图如图 4 所示，不等跨情形安装示意图如图 5 所示。

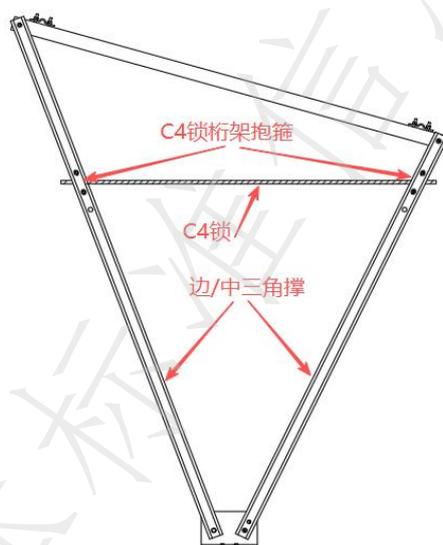


图 4 C4 索安装示意图

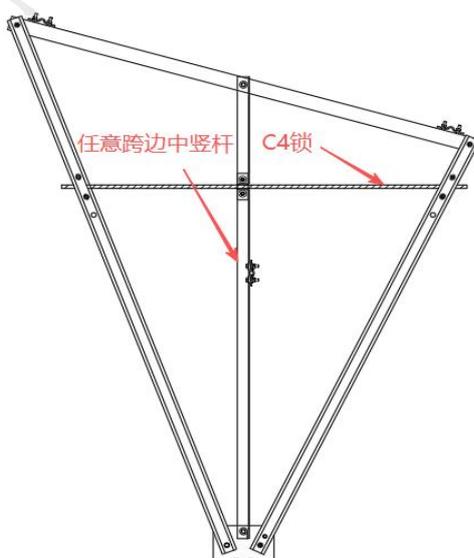


图 5 不等跨的 C4 索安装示意图

- 5.6.1.2 用夹片锚 U 形焊接件将 C4 索与稳定桁架边立柱上的弹簧相连，施加预拉力。
- 5.6.1.3 安装螺栓时先进行初拧，保证 C4 索在抱箍内有活动空间。
- 5.6.2 C5 索及桁架连杆安装
- 5.6.2.1 用夹片锚 U 形焊接件将 C5 索与稳定桁架边立柱上的弹簧相连，施加预拉力。
- 5.6.2.2 采用 C4/C5 索抱箍将 C5 索与三角桁架相连，连接边、中连杆与三角桁架，连杆与 L 型折板用螺栓组连接。
- 5.6.2.3 螺栓连接初拧，保证 C5 索有活动空间，C4、C5 索与三角撑在同一平面内呈直线且与 C1、C2 索垂直。
- 5.7 中柱稳定索安装
- 5.7.1 用螺栓组将抱箍固定于内侧中柱，连接稳定索与抱箍，初步张紧后用索盖板固定于中柱底板下。
- 5.7.2 螺栓连接不拧紧，保证索有活动空间，张紧即可，不施加过大初拉力，安装完成后进行终拧。
- 5.8 光伏组件安装
- 5.8.1 光伏组件应按照设计图纸的型号、规格进行安装。
- 5.8.2 光伏组件固定螺栓的力矩值应符合设计文件的规定。
- 5.8.3 光伏组件应从南往北或从北往南依次逐排安装，每跨可从靠近边横梁侧往另一侧安装或从两侧横梁往中间安装。
- 5.8.4 光伏组件安装的偏差应符合表 1 的规定。

表 1 光伏组件安装允许偏差

名称	允许偏差	
倾斜角度偏差	$\pm 1^\circ$	
光伏组件边缘高差	相邻光伏组件间	$\leq 2 \text{ mm}$
	同组光伏组件间	$\leq 5 \text{ mm}$
光伏组件间距	横梁与边缘光伏组件间	$\leq 2 \text{ mm}$
	相邻光伏组件间	$\leq 1 \text{ mm}$
	同组光伏组件间	$\leq 5 \text{ mm}$

## 6 水上作业技术措施

### 6.1 作业平台制作

- 6.1.1 水上作业平台分为三类：施工平台、运输平台、牵引船。
- 6.1.2 平台上部由钢管平台与铁桶固定组成，平台面层应满铺防滑木板，所有护栏应刷红白警示漆，间距不大于 30 cm。

### 6.2 作业平台承载与安全验算

#### 6.2.1 满载荷试验

使用盛满水的铁桶逐一堆载至设计极限荷载，静置 30 min，观察平台是否出现下沉、破损等现象。

#### 6.2.2 抗倾覆试验

按平台边侧集中加载，平台倾斜角度不得大于规定限值（如  $19^\circ/17^\circ$ ）。

#### 6.2.3 复检制度

平台转场后需再次验收，合格后方可投入使用。

## 7 质量验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 柔性架构系统施工完成后应分阶段、分专业进行验收，验收应包括桩基工程、结构安装、钢索张拉、组件安装、水上平台等内容。

7.1.2 质量验收应由施工单位自检合格后，组织监理单位、建设单位共同参与，依据设计文件和本文件进行验收。

7.1.3 验收过程中应采用目测、尺量、仪器检测、试验等方法，确保各项指标满足设计和施工要求。

### 7.2 验收

7.2.1 验收项目及要要求如表 2 所示。

表 2 验收项目及要要求

验收项目	要求	检查方法
桩位平面坐标偏差	$\leq \pm 30$ mm (南北/东西方向)	全站仪测量
桩顶标高	误差 0 mm ~ 10 mm	水准仪测量
桩垂直度	每米偏差 $\leq 10$ mm，全长 $\leq 20$ mm	垂直检测杆
焊缝质量	满焊，8 mm 角焊缝，外观质量 III 级	外观、测厚仪
焊缝防腐处理	环氧富锌底漆涂层完整，厚度符合协议或规范要求	涂层测厚仪
索张拉力	满足设计预应力值，允许偏差 $\pm 10\%$	绳索张力仪
索位置偏差	安装孔位中心偏差 $\leq \pm 30$ mm	卷尺测量
光伏组件安装间距	按图纸执行，组件间距、对齐误差 $\leq 10$ mm	卷尺、卡尺
光伏组件固定螺栓扭矩	扭矩符合设计要求（见施工图）	扭矩扳手
三角撑安装精度	同一跨内三角撑处于同一平面，与 C1、C2 索垂直	拉线、目测
索间垂跨比	C3 索垂跨比 $\leq 1/25$	卷尺测量
各类连接螺栓紧固情况	初拧、终拧记录齐全，连接牢固	检查记录、复测
安装记录与验收资料	文件齐全，施工过程可追溯	文件核查

7.2.2 验收应由建设单位组织，施工单位、监理单位及相关方共同参与。验收程序如下：

- a) 施工单位完成自检并整理验收资料；
- b) 提出验收申请，监理单位组织验收小组；
- c) 逐项检查验收内容，形成验收报告；
- d) 验收不合格项目应整改并重新验收；
- e) 验收合格后方可进入下道工序。

## 8 安全和职业健康

### 8.1 一般规定

8.1.1 开工前应结合工程自身特点,建立工程施工安全和职业健康管理组织机构,健全各项管理制度,并应同其他管理体系协调一致。

8.1.2 应对施工人员和管理人员进行各级安全和职业健康教育和培训。

8.1.3 危险区域应设置明显的安全、警示标志或隔离带。

## 8.2 安全文明施工总体规划

8.2.1 施工现场应挂设工程概况牌、管理人员名单及监督电话牌、消防保卫(防火责任)牌、安全生产牌、文明施工牌和施工现场平面图。

8.2.2 施工现场安全标志的使用应符合 GB 2894 的要求。

8.2.3 施工现场应实行区域模块式管理,对施工作业区、辅助作业区、材料堆放区、办公区和生活区等应进行明显的划分,办公区、生活区与作业区应保持足够的安全距离。

8.2.4 站区施工道路应畅通,不宜在路边堆放设备和材料等物品。

8.2.5 临时设施布局应合理、紧凑,充分利用地形,节约用地。

8.2.6 施工机械应进行定期检查和保养。

8.2.7 设备、材料、土方等物资应堆放合理,并应标识清楚,排放有序。

## 8.3 水上作业防护及操作规范

8.3.1 水上作业人员应佩戴救生衣、安全帽、安全带。

8.3.2 作业区应配备救生圈、灭火器、照明灯具、警示标志。

8.3.3 夜间施工应布置充足照明,确保上下通道安全可通行。

8.3.4 无关人员不应进入水上作业区域,外来人员需审批、登记。

8.3.5 水上电气设备应安装漏电保护装置,线路铺设合理规范。

8.3.6 遇风力5级及以上、浓雾、雷暴等天气应停止施工。

8.3.7 不应向水体倾倒油污、生活垃圾、废弃物;平台应设置垃圾回收容器。

8.3.8 平台应标示限载牌、作业规程、安全标识。

8.3.9 船只运行应缓行匀速,严禁超载、严禁推搡、打闹等行为。

8.3.10 水上作业平台、运输平台、牵引船的维护记录应完整,平台结构损坏、浮桶漏水应及时维修或更换。

## 8.4 安全施工管理

8.4.1 进入施工现场人员应自觉遵守现场安全文明施工纪律规定,各施工项目作业时应按照 DL 5009 的相关规定执行。

8.4.2 所有电气设备都应有可靠接地或接零措施,对配电盘、漏电保护器应定期检验并标识其状态,并在使用前进行确认。施工用电线路布线应合理、安全、可靠。

8.4.3 施工作业中,应减少交叉作业。

## 8.5 环境保护与职业健康

8.5.1 污染物排放应结合当地环境,做到合法排污、排废。

8.5.2 应加强噪声排放管理、监测、安装适宜的设备设施降低噪声,对外噪声排放限值应符合 GB 12348 的规定。