



团 体 标 准

T/XXX XXXX—2025

# 荒漠地区光伏发电系统安装与运维技术规范

Installation and operation and maintenance technology specification of photovoltaic power generation system in desert area

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

发 布

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 总则 ..... 1

5 系统设计与规划 ..... 1

6 设备与材料要求 ..... 2

7 安装技术要求 ..... 3

8 施工工艺流程 ..... 4

9 质量验收要求 ..... 5

10 运行与维护管理 ..... 6

11 应急处理与故障排除 ..... 6

12 安全要求 ..... 7

## 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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 荒漠地区光伏发电系统安装与运维技术规范

## 1 范围

本文件规定了荒漠地区光伏发电系统安装与运维的术语和定义、总则、系统设计与规划、设备与材料要求、安装技术要求、施工工艺流程、质量验收要求、运行与维护管理、应急处理与故障排除、安全要求相关内容。

本文件适用于荒漠地区集中式光伏发电系统的设计、施工、验收、运行与维护。

## 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 14848 地下水质量标准

GB 50057 建筑物防雷设计规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**荒漠地区** desert area

指年降水量低于200 mm、地表植被覆盖率低于10%的干旱、半干旱区域。

### 3.2

**光伏阵列** photovoltaic array

由光伏组件、支架、基础等组成的发电单元集合。

### 3.3

**微孔灌注桩** hollow pile grouting

适用于沙质地层的小孔径桩基施工技术。

## 4 总则

4.1 系统设计应遵循高效、可靠、环保原则，最大化利用太阳能资源。

4.2 施工过程应减少对荒漠生态的破坏，采用绿色施工技术。

4.3 运维管理应适应荒漠环境特点，系统可长期稳定运行。

## 5 系统设计与规划

### 5.1 设计原则

5.1.1 系统设计应充分考虑荒漠地区高辐照、强风沙、昼夜温差大等环境特点，宜选用耐候性强的设备和材料。

5.1.2 组件倾角和阵列间距宜通过 BIM 技术模拟优化，确保全年发电量最大化，阴影遮挡损失应 $\leq 3\%$ 。

5.1.3 系统可用率应 $\geq 98\%$ ，关键设备（逆变器、跟踪支架）宜采用冗余配置，单点故障影响范围应 $\leq 5\%$ 系统容量。

5.1.4 防雷接地系统设计应符合 GB 50057，接地电阻应 $\leq 4\ \Omega$ 。

5.1.5 设计应结合“光伏+治沙”模式，场区规划宜保留原生植被带，施工扰动面积应 $\leq$ 总用地面积的 30%。

5.1.6 组件下方可种植耐旱固沙植物，植被覆盖率应 $\geq 20\%$ ，检验方法应采用卫星影像分析。

### 5.2 系统容量规划

- 5.2.1 年太阳总辐射量应基于当地气象站 10 年以上数据，采用软件模拟，误差应 $\leq 5\%$ 。
- 5.2.2 沙尘天气频发地区宜增加 10%~15%的容量冗余，补偿因积沙导致的发电损失。
- 5.2.3 逆变器容量与组件直流侧容量配比宜为 1.1~1.3，极端高温地区可降低至 1.05~1.15。
- 5.2.4 储能系统容量应根据离网需求或调峰要求设计，储能时长宜为 2 h~4 h，循环效率应 $\geq 90\%$ 。

### 5.3 组件选型与布局

- 5.3.1 组件宜选用双玻结构或抗电势诱导衰减型号，功率温度系数应 $\leq 0.35\%/^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.3.2 风沙高发区组件边框应加装防风沙胶条，边框强度应满足抗风压 $\geq 2400\text{ Pa}$ 。
- 5.3.3 固定式支架倾角宜按“年辐射量最大”原则设计，方位角偏差应 $\leq \pm 5^{\circ}$ 。
- 5.3.4 跟踪式支架布局应避免相邻阵列转动干涉，最小安全间距应 $\geq 0.5$  倍组件高度。

### 5.4 支架系统设计

- 5.4.1 支架抗风设计应满足 50 年一遇风速（ $\geq 28\text{ m/s}$ ），结构安全系数应 $\geq 1.5$ 。
- 5.4.2 桩基设计应依据地质勘测数据，沙层地基承载力不足时宜采用微孔灌注桩或螺旋桩，单桩承载力应 $\geq 15\text{ kN}$ 。
- 5.4.3 坡度 $> 5\%$ 的沙丘区域应采用阶梯式布置，阶梯高差应 $\leq 2\text{ m}$ 。
- 5.4.4 跟踪支架基础宜采用可调式地脚螺栓，水平度调整范围应 $\geq \pm 30\text{ mm}$ 。

### 5.5 电气系统规划

- 5.5.1 并网点电压波动应 $\leq \pm 10\%$ ，谐波畸变率应 $\leq 3\%$ 。
- 5.5.2 升压站容量宜按系统容量的 1.1~1.2 倍配置，变压器空载损耗应 $\leq 0.5\%$ 额定容量。
- 5.5.3 直流电缆截面积应按 2%压降原则设计，载流量应 $\geq 1.25$  倍最大工作电流。
- 5.5.4 电缆敷设路径应避开沙丘移动区域，埋深应 $\geq 1.2\text{ m}$ ，过路段应穿镀锌钢管保护。

## 6 设备与材料要求

### 6.1 光伏组件

- 6.1.1 组件标称功率偏差应 $\leq \pm 3\%$ ，转换效率应 $\geq 20\%$ （单晶硅）或 $\geq 18\%$ （多晶硅）。
- 6.1.2 组件边框应选用阳极氧化铝合金（膜厚 $\geq 15\text{ }\mu\text{m}$ ），抗风压性能应 $\geq 2400\text{ Pa}$ 。
- 6.1.3 组件应具备抗电势诱导衰减功能，衰减率应 $\leq 5\%$ 。
- 6.1.4 高温高湿地区（温度 $> 40^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $> 85\%$ ）组件宜采用双玻结构，背板耐候性应通过 2000 h 湿热老化试验（ $85^{\circ}\text{C}/85\%\text{ RH}$ ）。
- 6.1.5 组件到货应全数检查外观（无隐裂、气泡、划痕），EL 检测抽检比例应 $\geq 5\%$ ，不合格批次应退换。

### 6.2 支架系统

- 6.2.1 支架主材应选用高强度钢材，锌层厚度应 $\geq 80\text{ }\mu\text{m}$ （热浸镀锌）。
- 6.2.2 跟踪支架转动轴承应选用不锈钢材质（如 304 SS），寿命应 $\geq 25$  年。
- 6.2.3 支架抗风设计应满足 50 年一遇风速（ $\geq 28\text{ m/s}$ ），连接节点极限承载力应 $\geq 1.5$  倍设计荷载。
- 6.2.4 可调式支架倾角调节范围应 $\geq \pm 15^{\circ}$ ，调节精度应 $\leq \pm 1^{\circ}$ ，并采用角度仪测量。

### 6.3 电气设备

- 6.3.1 逆变器最大效率应 $\geq 98.5\%$ ，欧洲效率应 $\geq 97\%$ ，防护等级应 $\geq \text{IP}65$ 。
- 6.3.2 直流输入端应具备防反接保护，交流输出端谐波畸变率应 $\leq 3\%$ 。
- 6.3.3 直流电缆应选用光伏专用双绝缘型，耐压等级应 $\geq 1.8\text{ kV}$ ，耐温范围应 $-40^{\circ}\text{C}\sim +90^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.3.4 连接器接触电阻应 $\leq 0.5\text{ m}\Omega$ ，插拔寿命应 $\geq 1000$  次。
- 6.3.5 汇流箱防护等级应 $\geq \text{IP}65$ ，熔断器额定电流应 $\geq 1.25$  倍组串短路电流。
- 6.3.6 配电柜母排载流量应 $\geq 1.5$  倍系统额定电流，柜体接地电阻应 $\leq 4\text{ }\Omega$ 。

### 6.4 防沙与固沙材料

- 6.4.1 草方格沙障用秸秆长度应 $\geq 400$  mm，埋深应 $\geq 200$  mm，网格密度应 $\leq 1$  m $\times$ 1 m。
- 6.4.2 防沙网网孔密度应 $\geq 80$  目，抗拉强度应 $\geq 30$  kN/m。
- 6.4.3 砾石层粒径宜为 10 mm ~30 mm，厚度应 $\geq 100$  mm，含泥量应 $\leq 5\%$ 。
- 6.4.4 固沙植物应选用耐旱品种（如梭梭、沙棘），苗木成活率应 $\geq 85\%$ 。

## 6.5 其他辅材

- 6.5.1 电缆接头密封胶应选用硅橡胶型，耐温范围应 $-50^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$ ，固化时间应 $\leq 2$  h。
- 6.5.2 钢结构防腐涂料应具备耐盐雾性能（ $\geq 1000$  h），干膜厚度应 $\geq 200$   $\mu\text{m}$ 。
- 6.5.3 桩基混凝土强度等级应 $\geq \text{C}30$ ，坍落度应控制在 18 cm ~22 cm，氯离子含量应 $\leq 0.06\%$ 。
- 6.5.4 外加剂（如减水剂）含气量应 $\leq 3\%$ 。

## 7 安装技术要求

### 7.1 光伏组件安装

- 7.1.1 组件与支架应采用不锈钢螺栓连接，螺栓紧固扭矩应符合设计要求（如 M8 螺栓扭矩宜为 15 N $\cdot$ m ~20 N $\cdot$ m）。
- 7.1.2 组件边框应与支架接触面应加装橡胶垫片，避免金属直接摩擦。
- 7.1.3 同一组串内组件功率偏差应 $\leq \pm 3\%$ ，安装前应通过 IV 曲线测试仪筛选匹配。
- 7.1.4 组串间间距应 $\geq$ 设计值的 95%，避免阴影遮挡，宜采用激光测距仪抽检（抽检比例 $\geq 10\%$ ）。
- 7.1.5 组件接线盒应选用防沙型（防护等级 $\geq \text{IP} 68$ ），密封胶圈应无老化龟裂，并采用气压测试（0.1 MPa 保压 5 min 无泄漏）。
- 7.1.6 高温地区（ $>40^{\circ}\text{C}$ ）组件背板宜采用白色高反射材料，降低工作温度。

### 7.2 支架系统安装

- 7.2.1 微孔灌注桩混凝土强度应 $\geq \text{C}30$ ，桩顶预埋件水平度偏差应 $\leq \pm 2$  mm。
- 7.2.2 桩基间距允许偏差应 $\leq \pm 50$  mm。
- 7.2.3 支架立柱垂直度偏差应 $\leq 1.5\%$ ，横梁水平度偏差应 $\leq 3$  mm/10 m。
- 7.2.4 螺栓连接处应涂覆防腐油脂，外露螺纹长度应 $\geq 2$  倍螺距。
- 7.2.5 单轴跟踪支架转动角度误差应 $\leq \pm 1^{\circ}$ ，双轴跟踪支架方位角误差应 $\leq \pm 0.5^{\circ}$ 。
- 7.2.6 驱动电机负载电流应 $\leq$ 额定值的 80%，异常时应排查机械阻力或润滑不足。

### 7.3 电气系统安装

- 7.3.1 直流电缆埋深应 $\geq 1.2$  m，铠装层应无破损，过路处应穿镀锌钢管保护（管径 $\geq$ 电缆外径 1.5 倍）。
- 7.3.2 电缆弯曲半径应 $\geq 12$  倍电缆外径（多芯电缆）或 15 倍（单芯电缆）。
- 7.3.3 逆变器与支架间距应 $\geq 500$  mm，散热风道应避开沙尘堆积方向。
- 7.3.4 直流输入端极性应标识清晰，极性接反保护功能应通过模拟测试验证。
- 7.3.5 光伏阵列接地网应采用镀锌扁钢（截面 $\geq 40$  mm $\times$ 4 mm），光伏阵列接地网埋深应 $\geq 0.8$  m，接地电阻应 $\leq 4$   $\Omega$ 。
- 7.3.6 防雷引下线与接地体连接应采用放热焊接，搭接长度应 $\geq$ 扁钢宽度的 2 倍。

### 7.4 防沙与固沙措施

- 7.4.1 施工期间桩基周边宜设置草方格沙障（网格尺寸 1 m $\times$ 1 m），草方格埋深应 $\geq 200$  mm。
- 7.4.2 电缆沟回填后表层可铺设防沙网（网孔密度 $\geq 80$  目），覆盖宽度应 $\geq$ 沟宽 1.5 倍。
- 7.4.3 场区边界应种植耐旱固沙植物（如沙柳、骆驼刺），株距应 $\leq 1$  m，成活率应 $\geq 85\%$ 。
- 7.4.4 组件阵列间可铺设砾石层（厚度 $\geq 100$  mm，粒径 10 mm ~30 mm），砾石覆盖率应 $\geq 90\%$ 。

### 7.5 特殊环境安装要求

- 7.5.1 支架抗风设计应满足 50 年一遇风速（ $\geq 28$  m/s），连接节点应进行风洞试验验证。
- 7.5.2 跟踪式支架在风速 $\geq 15$  m/s 时应自动切换至水平锁定模式。
- 7.5.3 电缆宜选用耐高温型（导体温度 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ ），逆变器散热系统应配置冗余风扇，高温报警阈值应

≤65℃。

7.5.4 组件接线盒与电缆连接处应使用高温硅胶密封，耐温等级应≥120℃。

## 7.6 安装过程安全控制

7.6.1 登高作业人员应佩戴全身式安全带及防坠器，安全绳固定点应独立于作业支架。

7.6.2 风速≥8m/s时应停止高空作业。

7.6.3 带电作业应使用绝缘工具（耐压等级≥1000 V），作业区域应设置隔离围栏及警示标识。

7.6.4 电缆耐压测试电压应≥2 倍系统电压（如 1000 V 系统测试电压为 2000 V），持续时间应≥5 min。

## 8 施工工艺流程

### 8.1 总体流程

光伏电站施工应遵循“勘察设计→场地准备→基础施工→支架安装→组件安装→电气系统安装→调试并网→验收移交”的标准化流程，荒漠地区施工宜增加防沙固沙专项工序。

### 8.2 分项施工工艺要求

#### 8.2.1 场地准备与放线

8.2.1.1 施工前应进行地质勘测，评估沙层厚度、承载力及地下水分布，形成地质勘测报告。

8.2.1.2 场区障碍物（如石块、枯木）应清理完毕，清理范围宜超出施工边界 5 m。

8.2.1.3 桩位放线应采用 RTK 定位技术，定位误差应≤30 mm。

8.2.1.4 组串边界应设置永久性标识桩，并标注高程控制点。

#### 8.2.2 基础施工

基础施工应满足以下要求：

——桩基成孔

- 钻孔宜采用螺旋钻机，成孔直径允许偏差应≤±5 mm，孔深应≥设计值；
- 成孔后应立即覆盖孔口，防止流沙回灌，孔底虚沙厚度应≤100 mm。

——钢筋笼安装

- 钢筋笼主筋间距允许偏差应≤±10 mm，保护层厚度应≥40 mm；
- 钢筋笼吊装时应使用尼龙吊带，严禁直接钩挂钢筋，就位后应通过定位环固定。

——混凝土浇筑

- 混凝土坍落度应控制在 18 cm ~ 22 cm，浇筑应连续进行，间歇时间宜≤30 min；
- 振捣应采用φ30插入式振捣器，振捣深度应穿透每层混凝土。

——预埋件安装

- 地脚螺栓轴线偏差应≤2 mm，标高偏差应≤±5 mm；
- 预埋件宜采用可调式定位模具固定，浇筑后 24 h 内应复测位置。

#### 8.2.3 支架安装

8.2.3.1 立柱安装时，立柱垂直度偏差应≤1.5‰。

8.2.3.2 螺栓紧固扭矩应符合设计要求（如 M16 螺栓扭矩宜为 150N·m），抽检比例应≥10%。

8.2.3.3 跟踪式支架转动角度偏差应≤±1°，东西向跟踪范围应覆盖日出至日落方位。

8.2.3.4 驱动电机空载电流应≤额定值的 20%。

#### 8.2.4 光伏组件安装

8.2.4.1 组件与支架间应使用防腐螺栓连接，螺栓防松标记应清晰，抽检比例应≥5%。

8.2.4.2 相邻组件边缘高差应≤2 mm，组串内组件间距偏差应≤±3 mm。

8.2.4.3 组串正负极应标识明确，MC4 插头连接后应进行拉力测试（轴向拉力≥200N 无脱落）。

8.2.4.4 组串开路电压偏差应≤±2%。

#### 8.2.5 电气系统施工

- 8.2.5.1 直流电缆埋深应 $\geq 1.2$  m，铠装层应无破损，弯曲半径应 $\geq 12$  倍电缆直径。
- 8.2.5.2 电缆接头应使用双壁热缩管密封，并填充防腐硅脂。
- 8.2.5.3 逆变器散热风道与墙体距离应 $\geq 500$  mm，进出风口应加装防沙网（网孔 $\leq 1$  mm<sup>2</sup>）。
- 8.2.5.4 汇流箱防护等级应 $\geq \text{IP } 65$ ，箱体接地电阻应 $\leq 4$   $\Omega$ 。

### 8.2.6 防沙固沙措施

- 8.2.6.1 施工期间场区周边宜铺设草方格沙障（网格尺寸 1 m $\times$ 1 m），沙障高度应 $\geq 200$  mm。
- 8.2.6.2 沙障破损率 $> 10\%$ 时应及时修复。
- 8.2.6.3 桩基周边可铺设砾石层（厚度 $\geq 100$  mm，粒径 10 mm~30 mm），砾石覆盖率应 $\geq 90\%$ 。
- 8.2.6.4 场区边界宜种植耐旱植物（如梭梭、沙棘），株距应 $\leq 1$  m，成活率应 $\geq 85\%$ 。

## 8.3 工艺流程质量控制

### 8.3.1 关键控制点应包含但不限于以下内容：

- 桩基垂直度；
- 组件倾角；
- 电缆绝缘电阻；
- 接地电阻等。

### 8.3.2 关键控制点应全数检测，不合格项整改率应达 100%。

### 8.3.3 应形成分项工程验收记录表，包含实测数据、整改措施及验收结论，保存期限应 $\geq$ 电站设计寿命。

## 9 质量验收要求

### 9.1 基础工程验收

#### 9.1.1 桩基施工

- 9.1.1.1 桩基垂直度偏差应 $\leq 1\%$ ，全桩长垂直度允许偏差应 $\leq 20$  mm。
- 9.1.1.2 桩顶标高允许偏差应 $\leq \pm 20$  mm，同一组串内桩顶标高差应 $\leq 40$  mm。
- 9.1.1.3 桩基孔径误差应 $\leq \pm 5$  mm，孔底虚沙厚度应 $\leq 100$  mm。

#### 9.1.2 钢筋笼与预埋件

- 9.1.2.1 钢筋笼主筋间距允许偏差应 $\leq \pm 10$  mm，箍筋间距应 $\leq \pm 20$  mm。
- 9.1.2.2 预埋地脚螺栓轴线偏差应 $\leq 2$  mm，标高偏差应 $\leq \pm 5$  mm。

#### 9.1.3 混凝土浇筑

- 9.1.3.1 混凝土强度等级应满足设计要求，试块抗压强度检验批合格率应 $\geq 95\%$ 。
- 9.1.3.2 桩头外观应密实平整，蜂窝麻面面积应 $\leq$ 桩身表面积的 1%，且深度应 $\leq 5$  mm。

### 9.2 支架与组件安装验收

#### 9.2.1 支架安装

- 9.2.1.1 支架立柱垂直度偏差应 $\leq 1.5\%$ 。
- 9.2.1.2 支架连接螺栓紧固扭矩应符合设计要求，抽检比例应 $\geq 10\%$ 。
- 9.2.1.3 跟踪式支架转动角度偏差应 $\leq \pm 1^\circ$ 。

#### 9.2.2 光伏组件安装

- 9.2.2.1 组件安装倾角允许偏差应 $\leq \pm 1^\circ$ ，方位角偏差应 $\leq \pm 2^\circ$ 。
- 9.2.2.2 组件间缝隙应均匀，相邻组件边缘高差应 $\leq 2$  mm。
- 9.2.2.3 组件紧固螺栓应全数检查，防松标记应清晰无位移。

### 9.3 电气系统验收



- 9.3.1 电缆埋深应 $\geq 1.2\text{m}$ ，铠装层绝缘电阻应 $\geq 10\text{ M}\Omega$ 。
- 9.3.2 接地网接地电阻应 $\leq 4\ \Omega$ ，抽检比例应 $\geq 30\%$ 。
- 9.3.3 逆变器输出电压波动应 $\leq \pm 2\%$ ，效率应 $\geq 98\%$ 。
- 9.3.4 汇流箱防护等级应 $\geq \text{IP } 65$ ，箱体密封性应无渗水、进沙现象。
- 9.3.5 光伏系统发电效率应 $\geq$ 设计值的 95%。
- 9.3.6 系统绝缘电阻应 $\geq 1\text{ M}\Omega$ 。

## 9.4 防沙验收

- 9.4.1 沙障（草方格或砾石层）设置间距应 $\leq 2\text{ m}$ ，砾石层厚度应 $\geq 10\text{ cm}$ 。
- 9.4.2 组件表面自动清洁装置覆盖率应 $\geq 90\%$ ，清洁后组件透光率下降应 $\leq 5\%$ 。
- 9.4.3 场区周边耐旱植物成活率应 $\geq 85\%$ ，抽检比例应 $\geq 20\%$ 。
- 9.4.4 施工废弃物回收率应 $\geq 95\%$ ，应核查废弃物处理记录及第三方证明文件。

## 10 运行与维护管理

### 10.1 日常巡检

- 10.1.1 光伏组件表面应每日进行远程视频监控检查，发现积沙或污渍时应及时清理。
- 10.1.2 支架、电缆接头及接地系统应每周进行一次现场巡检，沙尘暴、强风等极端天气后应立即增加巡检频次。
- 10.1.3 巡检内容应包含但不限于以下内容：
  - 组件表面应无破损、热斑及明显积沙，接线盒密封性应完好。
  - 支架连接螺栓应无松动、锈蚀，防腐涂层应完整。
  - 电缆沟应无塌陷、积水，铠装层应无破损。

### 10.2 定期维护

- 10.2.1 组件表面宜每 15 天进行一次人工或机械清洁，沙尘频发期可缩短至 7 天，清洁后透光率下降应 $\leq 3\%$ 。
- 10.2.2 沙障（草方格、砾石层）应每季度检查一次，破损率 $> 10\%$ 时应修复。
- 10.2.3 逆变器散热风扇应每半年清理一次积尘，滤网更换周期应 $\leq 6$ 个月。
- 10.2.4 跟踪式支架转动机构应每年润滑一次，齿轮箱油位及油质应符合厂家要求。
- 10.2.5 接地电阻应每年检测一次，阻值应 $\leq 4\ \Omega$ ，雨季前应复测。
- 10.2.6 电缆绝缘电阻应每两年检测一次，阻值应 $\geq 10\text{ M}\Omega$ 。

### 10.3 性能优化与数据分析

- 10.3.1 应建立远程监控平台，实时采集发电量、组件温度、辐照度等数据，数据存储周期应 $\geq 5$ 年。
- 10.3.2 系统效率应每月计算一次，同比降幅 $> 3\%$ 时应启动原因排查。
- 10.3.3 组件倾角宜每年根据辐照数据优化一次，调整偏差应 $\leq \pm 0.5^\circ$ 。
- 10.3.4 老旧组件（运行 $\geq 10$ 年）可分批进行效率检测，衰减率 $> 20\%$ 时应更换。

## 11 应急处理与故障排除

### 11.1 应急响应机制

- 11.1.1 应急分级应分为以下级别：
  - 一级应急事件（如火灾、触电、设备爆炸）：应立即启动全场区紧急停机，疏散人员至安全区域，并报告当地应急管理部门；
  - 二级应急事件（如组件大面积损坏、电缆短路）：应局部切断故障区域电源，组织抢修并上报运维管理部门；
  - 三级应急事件（如单组串故障、沙尘堆积）：可由现场运维人员直接处理，完成后记录故障信息。

11.1.2 一级事件响应时间应 $\leq 30$  min，二级事件应 $\leq 2$  h，三级事件应 $\leq 24$  h。

11.1.3 应急通讯设备（如卫星电话、对讲机）应保持 24 h 畅通，场区宜配置独立应急电源。

## 11.2 常见故障分类与处理

11.2.1 设备故障可分为以下内容：

——逆变器故障

- 若逆变器报警停机，应先断开直流侧输入，检查散热风扇、保险管及模块状态，更换损坏部件后重启；
- 故障代码应参照厂家手册解析，复位失败时宜更换备用逆变器模块。

——光伏组件故障

- 发现热斑或隐裂时，应使用红外热成像仪定位故障组件，断开对应组串并更换组件，严禁带电操作；
- 组件玻璃破损导致漏电时，可临时覆盖绝缘胶带并标记，48 h 内应完成更换。

11.2.2 自然灾害应对可分为以下内容：

——沙尘暴

- 沙尘暴预警时，跟踪式支架应切换至水平避风模式，固定式支架宜加装临时防风缆绳；
- 沙尘过后应立即检查组件表面清洁度、支架螺栓紧固度及电缆接头密封性。

——高温与雷击

- 环境温度 $>45^{\circ}\text{C}$ 时，应缩短逆变器满负荷运行时间，必要时启动强制通风降温；
- 雷击后应全面检测防雷接地系统，接地电阻 $>10\ \Omega$ 时需重新敷设接地极。

11.2.3 电气系统故障可分为以下内容：

——电缆短路或接地故障

- 使用绝缘电阻测试仪分段排查故障点，故障段电缆应切除并重新压接，接头处宜采用双层热缩管防护；
- 高压电缆故障修复后应进行耐压试验。

——汇流箱起火

- 立即切断上游电源，使用干粉灭火器扑救，严禁用水灭火；
- 起火原因应追溯至过载、短路或接触不良，修复后需提交事故分析报告。

## 11.3 故障排除流程

11.3.1 标准化流程可遵循以下步骤：

——故障确认：通过监控平台报警信息、现场巡检或用户反馈确认故障类型及范围。

——安全隔离：断开故障设备电源，悬挂“禁止合闸”标识，必要时设置警戒区。

——诊断与修复：

- 使用专用工具（如万用表）定位故障点，宜更换备用件恢复运行。
- 复杂故障（如系统效率异常）可联系设备厂家技术支持协同处理。

——功能验证：修复后应进行 72 h 试运行，确认发电参数及稳定性达标。

11.3.2 所有故障处理应填写故障处理记录表，内容包含故障现象、原因、处理措施及预防建议。

11.3.3 同类故障重复发生 $\geq 3$  次时，应启动根本原因分析并修订运维规程。

## 11.4 应急资源管理

11.4.1 关键设备（如逆变器功率模块、保险管、跟踪控制器）应储备 $\geq 5\%$ 的备件，沙尘频发区可增加至 10%。

11.4.2 备件库应分区存放（电子件防潮、金属件防锈），每月核查有效期及库存量。

11.4.3 应急工具箱应包含绝缘手套、验电笔、液压钳、热风枪等，绝缘工具耐压等级应 $\geq 1000\ \text{V}$ 。

11.4.4 防毒面具、灭火器、急救包应定点存放并每月检查有效性。

## 12 安全要求

### 12.1 施工安全要求

- 12.1.1 施工人员应佩戴防尘口罩、护目镜及防滑鞋，高温环境作业时应配备防暑降温用品（如冰袋、遮阳帽）。
- 12.1.2 高空作业（ $\geq 2\text{ m}$ ）人员应持特种作业证，并系挂双钩安全带，安全绳固定点应独立于作业支架。
- 12.1.3 重型机械（如吊车、挖掘机）在松软沙地作业时应铺设钢板或防陷垫，接地比压应 $\leq 50\text{ kPa}$ 。
- 12.1.4 电气设备及电缆应设置漏电保护装置，临时配电箱防护等级应 $\geq \text{IP } 54$ 。
- 12.1.5 桩基钻孔区域应设置警戒线及警示标识，夜间施工应配备红色警示灯，照明照度应 $\geq 50\text{ Lux}$ 。
- 12.1.6 易燃材料（如电缆护套、包装泡沫）应单独存放于防火仓库，仓库与作业区距离应 $\geq 20\text{ m}$ 。

## 12.2 运行安全要求

- 12.2.1 高压设备（如逆变器、变压器）应设置隔离围栏，围栏高度应 $\geq 1.8\text{ m}$ ，并悬挂“高压危险”标识。
  - 12.2.2 接地系统应每季度检测一次，接地电阻应 $\leq 4\ \Omega$ ，雨季前应复测。
  - 12.2.3 电缆接头应采用防水防沙型接线盒，密封胶圈应无老化裂纹。
  - 12.2.4 跟踪支架转动机构应设置机械锁止装置，风速 $\geq 15\text{ m/s}$ 时应自动锁定。
  - 12.2.5 应制定沙尘暴、火灾、触电等专项应急预案，应急物资（灭火器、急救箱、应急照明）应每月检查可用性。
  - 12.2.6 每年应至少组织一次应急演练，演练记录应包含响应时间、处置流程及改进措施。
-