

ICS 27.160  
CCS C 331



团 体 标 准

T/CI 1083—2025

# 智能跟踪光伏支架

Intelligent photovoltaic tracking brackets

2025-07-03 发布

2025-07-03 实施

中国国际科技促进会 发布  
中国标准出版社 出版



## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 跟踪支架的分类 .....	2
5 跟踪器的工作要求 .....	9
6 跟踪支架的机械性能要求 .....	14
7 跟踪精度表征 .....	16
8 跟踪系统检测 .....	19
9 跟踪器电子元件检测 .....	24
10 包装与运输 .....	30
11 安装 .....	31



## 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。

本文件由石家庄铁道大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：石家庄铁道大学、南京航空航天大学、华电科工股份有限公司、协合新能源集团有限公司、清源科技股份有限公司、马鞍山经纬新能源传动设备有限公司、江苏新恒源能源技术有限公司、江苏西立智能装备股份有限公司、厦门友巨新能源股份有限公司、同济大学、湖南大学、广东博慎智库能源科技发展有限公司、天合光能股份有限公司、江苏中信博新能源科技股份有限公司、江苏国强兴晟能源科技股份有限公司、唐山海泰智能装备有限公司、杭州帷盛科技有限公司、上海电气电站设备有限公司上海发电机厂、常州普芝机电有限公司、仁卓智能科技有限公司、江苏东软智能科技有限公司、宁波帕瓦莱斯智能科技有限公司、苏州联胜新能源科技有限公司、宁波余大通信技术有限公司、实瀚复合材料(上海)有限公司。

本文件主要起草人：马文勇、柯世堂、王二峰、梁会森、陈建江、张陈、沈小杰、杨俊、黄天福、陈伟、周晖毅、李寿英、陈皓勇、强生官、邬亮、谭强、赵志先、于子一、胡磊、丁建峰、夏登福、魏家圣、杨勇、杨永刚、赵明娟、韩言正、任贺贺、黄龙。



# 智能跟踪光伏支架

## 1 范围

本文件规定了智能跟踪光伏支架的设计、生产、安装和运维、包装、运输和安装的要求,描述了相应的检验方法。

本文件适用于智能跟踪光伏支架的生产、检测及安装等。

## 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 2423.5 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)
- GB/T 2423.22 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
- GB/T 20138 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级(IK代码)
- GB/T 29320—2024 光伏电站太阳跟踪系统技术要求
- GB/T 37655 光伏与建筑一体化发电系统验收规范
- GB/T 38335 光伏电站运行规程
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- GB/T 50796 光伏发电工程验收规范
- GB 50797 光伏电站设计标准
- JB/T 11258 数字风向风速测量仪
- JG/T 490—2016 太阳能光伏系统支架通用技术要求
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计标准
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JJF 1352 角位移传感器校准规范
- NB/T 10634—2021 光伏电站支架及跟踪系统技术监督规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**光伏发电系统 photovoltaic power generation system**

一种利用光电效应将太阳光转化为电能的系统。

### 3.2

#### 光伏组件 photovoltaic module

由多个光伏电池单元连接而成,并通过电气连接器将电能输出。在光伏跟踪支架系统中,光伏组件安装在支架结构上,并根据太阳的位置进行调整。

### 3.3

#### 支架结构 mounting structure

光伏跟踪支架系统的重要部分,用于支撑和固定光伏组件和跟踪器,能够自动调整光伏组件角度以跟随太阳运动的一种结构。

### 3.4

#### 跟踪器 tracker

光伏跟踪支架系统中用于使支架结构旋转并跟踪太阳轨迹的关键装置。

### 3.5

#### 控制系统 control system

用于监测太阳位置和环境变化,并根据预设的跟踪算法来控制跟踪器的运动装置。

注:包括传感器、控制器和执行机构等组件,以确保光伏组件始终面向太阳,并且保持最佳的光吸收效率。

### 3.6

#### 驱动系统 drive system

负责接收控制信号并驱动跟踪器的动力执行机构。

注:通常由电动机、减速器和相关的传动装置组成,以提供适当的力和运动,使跟踪器能够顺利跟踪太阳的轨迹。

### 3.7

#### 跟踪误差率 track the error rate

衡量跟踪系统的实际位置与理想位置之间的偏差。

### 3.8

#### 能耗效率 energy consumption efficiency

跟踪系统运行所消耗的能量与因跟踪而增加的能量产出之比。

## 4 跟踪支架的分类

### 4.1 概述

在光伏发电系统中,跟踪支架的主要功能是增强捕获可用的太阳辐照度,以转换为电力。跟踪支架可根据其转动轴、驱动类型、控制类型和能耗等级等进行分类。

### 4.2 跟踪支架类型

#### 4.2.1 概述

跟踪支架可以分为刚性跟踪支架和柔性跟踪支架,刚性跟踪支架根据转动轴的数量和方向进行分类,包括单轴跟踪支架、双轴跟踪支架。

#### 4.2.2 单轴跟踪支架

##### 4.2.2.1 概述

单轴跟踪支架只有一个转动轴,即只有一个旋转自由度。单轴跟踪支架根据转动轴的布置方向可以分为水平单轴跟踪支架、垂直单轴跟踪支架、斜向单轴跟踪支架和平斜单轴跟踪支架等。

#### 4.2.2.2 水平单轴跟踪支架

##### 4.2.2.2.1 应用场景

水平单轴跟踪支架的转动轴沿地面水平方向布置,使光伏组件跟踪太阳轨迹,主要用于中低纬度的地区,适合大规模地面光伏电站。水平单轴跟踪支架可以提高光伏组件的光照接收时间,尤其是在清晨和傍晚。

##### 4.2.2.2.2 接收光照类型

水平单轴跟踪支架绕一维轴旋转,使得光伏组件受光面在一维方向尽可能垂直于太阳光的入射角,通过调整水平轴的旋转方向来最大化光伏组件的接收光照强度。

##### 4.2.2.2.3 精度要求

视日跟踪精度要求跟踪支架能够在不同时间段内准确跟踪太阳的位置变化,以确保光伏组件始终处于最佳的光照角度。季节性跟踪精度则要求跟踪支架能够适应不同季节太阳高度角的变化。通常情况下,对于水平单轴跟踪支架的精度要求相对较低,误差范围一般可以接受在 $\pm 2^\circ$ 左右。

#### 4.2.2.3 垂直单轴跟踪支架

垂直单轴跟踪支架的旋转轴相对于地面方向垂直布置,使得光伏组件受光面在一维方向尽可能垂直于太阳光的入射角。

#### 4.2.2.4 斜单轴跟踪支架

##### 4.2.2.4.1 应用场景

斜单轴跟踪支架适用于太阳高度角变化较大的中高纬度地区。斜单轴跟踪支架的旋转轴与地面方向呈一定倾斜角度,从而确保光伏组件始终保持在最佳的光照角度,最大化提高能量捕获效率。

##### 4.2.2.4.2 接收光照类型

斜单轴跟踪支架具有适应不同太阳高度角的能力,并且能有效地应对不同时间和地点的光照变化。通过调整转动轴的倾斜角度,斜单轴跟踪支架能够调整光伏组件的朝向,实现最大化光照强度的捕获,从而提高发电效率。

##### 4.2.2.4.3 精度要求

斜单轴跟踪支架不仅需要满足视日和季节性跟踪精度,还需要考虑转动轴倾斜角度对跟踪精度的影响。为确保光伏组件能够最大化地接收太阳光照强度,斜单轴跟踪支架应能更精确地调整转动轴的倾斜角度,通常要求精度在 $\pm 2^\circ$ 以内。

#### 4.2.2.5 平斜单轴跟踪支架

##### 4.2.2.5.1 应用场景

平斜单轴跟踪支架适用于中高纬度地区,其转动轴沿地面水平方向布置,转动轴上的光伏组件倾斜一定角度。

#### 4.2.2.5.2 接收光照类型

平斜单轴跟踪支架接收来自太阳的斜向光线,相比于平单轴跟踪支架,其倾斜的光伏组件使得跟踪支架能够更有效地捕获光照强度,特别是在太阳高度角变化较大的季节。

#### 4.2.2.5.3 精度要求

平斜单轴跟踪支架的精度要求类似于平单轴跟踪支架,但考虑了光伏组件的倾斜角度。除了视日跟踪精度和季节性跟踪精度外,还需要考虑光伏组件倾斜对跟踪性能的影响。调整转动轴的倾斜角度,通常要求精度在 $\pm 2^\circ$ 以内,以确保跟踪支架能够最大化接收光照强度。

### 4.2.3 双轴跟踪支架

#### 4.2.3.1 概述

双轴跟踪支架具有两个转动轴,转动轴通常是彼此垂直的,主要包括水平双轴跟踪支架和垂直双轴跟踪支架。

#### 4.2.3.2 双轴跟踪支架的实现

##### 4.2.3.2.1 概述

双轴跟踪支架可以根据主轴相对于地面的方向进行不同的分类,分成垂直主双轴跟踪支架和水平主双轴跟踪支架。

垂直主双轴跟踪支架的主轴垂直于地面,次轴通常正向于主轴,也可称为方位仰角跟踪支架。方位角是指主轴相对于北偏东的角度,以 $0^\circ$ 表示朝向北方, $90^\circ$ 表示朝向东方,以此类推。仰角是指主轴相对于地平线的倾斜角度,以从地平线向上倾斜的度数来表示。天顶角是仰角的补角,即天顶角 $=90^\circ -$ 仰角。需要注意的是,上述的符号约定是用于描述角度的一种约定,不同的约定也可以使用。

示例:方位角表示方法

同一跟踪支架的运动范围可采用两种等效方式描述:

- a) 绝对角度法:方位角从 $+20^\circ$ 到 $+340^\circ$ (顺时针方向覆盖 $320^\circ$ 范围);
- b) 相对角度法:方位角 $\pm 160^\circ$ (以正北为基准点,向东/西各摆动 $160^\circ$ )。

说明:

- a) 两种表示方法均覆盖 $320^\circ$ 的方位角范围,后者更直观体现以基准点为中心的摆动特性;
- b) 实际应用中应明确基准点定义(如正北、正南等);
- c) 仰角范围通常为 $0^\circ$ (水平)至 $90^\circ$ (垂直)。

每种实现方式都有其特点和适用场景,选择最合适的双轴跟踪支架类型取决于光伏发电系统的具体需求,包括地理位置、太阳能资源、系统设计等。

##### 4.2.3.2.2 应用场景

双轴跟踪支架适用于各种纬度,因为它可以在水平和垂直方向上跟踪太阳的位置,从而最大化光伏发电系统发电量。无论在低纬度还是高纬度地区,双轴跟踪支架可以在水平和垂直方向上面精确跟踪太阳轨迹,保障光伏发电系统始终朝向光线最佳方向。

##### 4.2.3.2.3 接收光照类型

双轴跟踪支架能够同时跟踪太阳的水平和垂直位置,从而可以接收来自太阳的水平和垂直方向的光

线。双轴跟踪支架能够在两个方向上进行精确调整,全方位地跟踪太阳轨迹。

#### 4.2.3.2.4 精度要求

双轴跟踪支架应能在任何时间和任何地点都能够最大程度地捕捉太阳光。在双轴跟踪支架中,垂直轴控制着跟踪支架在垂直方向上的运动,以适应太阳的高度角变化。为了确保准确跟踪太阳的位置,垂直轴的精度误差通常不超过 $\pm 1^\circ$ 。

#### 4.2.4 柔性跟踪支架

##### 4.2.4.1 概述

柔性光伏跟踪支架是指采用柔性支架结构的跟踪系统,由柔性承重索、钢立柱、钢斜柱或斜拉索、钢梁等组成,具有结构简单、材料使用较少、质量轻、建设周期短等传统支架所缺乏的优点。柔性光伏跟踪支架的承重索采用钢绞线等柔性组件,此类柔性组件具有弹性模量大、松弛率低、强度高优点,能够进行大跨度张拉,从而规避场地的起伏等不利因素。

##### 4.2.4.2 应用场景

柔性光伏跟踪支架可以根据不同纬度和光照条件灵活调整光伏组件的位置。无论在低纬度还是高纬度地区,它都能确保光伏组件始终朝向光线最佳方向,提供更高的能源产出。

##### 4.2.4.3 接收光照类型

柔性光伏跟踪支架是一种能够根据光照条件自动调整光伏组件位置的装置。柔性光伏跟踪支架可以接收各种类型的光照,包括直射光和散射光。

##### 4.2.4.4 精度要求

柔性光伏跟踪支架应当具备较高的视日跟踪精度和季节性跟踪精度,误差范围一般可以接受在 $\pm 2^\circ$ 左右,以确保光伏组件最大化接收光照强度。

#### 4.3 驱动类型

##### 4.3.1 概述

智能跟踪光伏支架驱动系统包括将机械运动传递到有效载荷界面的各种组件,主要涉及所有转动轴的传动传输,组件通常包括齿轮、电动机、执行器、电动/液压/气动缸、变速器和连杆机构等。其中,驱动系统并不包括电子控制装置或有效载荷接口。

##### 4.3.2 驱动器

###### 4.3.2.1 概述

驱动器是实现光伏组件跟踪太阳轨迹的运动装置,驱动器主要包括有源驱动器和无源驱动器,其中有源驱动器主要包括电动驱动器和液压驱动器等。

###### 4.3.2.2 电动驱动器

电动驱动器将电能传输到交流电机、直流有刷电机或直流无刷电机,以产生旋转运动。电机通常与

齿轮箱连接,齿轮箱通过齿轮的传动来降低输出转速,并增加输出扭矩。除了齿轮箱之外,还可以使用杠杆系统来提供旋转或线性运动。

#### 4.3.2.3 液压驱动器

液压驱动器使用液压泵来产生液压压力,液压通过比例阀或开关阀等阀门、管道和软管传递到液压马达或气缸上,液压马达或气缸提供旋转或直线运动来驱动跟踪器。液压驱动器通常应用于大型、重型的双轴跟踪支架。

#### 4.3.2.4 无源驱动器

无源驱动器使用流体压力差来驱动跟踪器。无源驱动器主要依赖于差分阴影原理,即基于太阳辐射产生的热梯度来产生流体流动。无源驱动器适用于较小规模的跟踪器以及在需要较少监控和控制的场景中使用。

### 4.3.3 驱动系统扭矩

#### 4.3.3.1 工作扭矩

工作扭矩是在驱动系统工作时(可以跟踪太阳或移动到其他位置或静止)的最大扭矩。驱动系统通过提供足够的扭矩来克服摩擦力和阻力,使跟踪支架能够顺利跟踪太阳轨迹。技术要求和测试方法如下。

- a) 技术要求。工作扭矩应满足以下条件:
  - 1) 单轴跟踪支架: $\geq 1.5$ 倍静态负载扭矩;
  - 2) 双轴跟踪支架: $\geq 2.0$ 倍静态负载扭矩;
  - 3) 柔性跟踪支架: $\geq 1.2$ 倍动态负载扭矩。
- b) 测试方法。按照NB/T 10634—2021进行扭矩测试,测试负载应包含:
  - 1) 光伏组件自重( $\pm 5\%$ );
  - 2) 设计风速下的风载荷(按5.6.2要求);
  - 3) 0.5倍雪载荷(按5.6.3要求)。

#### 4.3.3.2 保持扭矩

保持扭矩是当驱动系统处于保护位置时,跟踪支架可承受的最大反向扭矩。跟踪支架在此扭矩下既不会损伤也不会反转,每个转动轴的保持扭矩可以有所不同。技术要求和验证方法如下。

- a) 技术要求。保持扭矩应满足:
  - 1) 单轴跟踪支架: $\geq 3.0$ 倍工作扭矩;
  - 2) 双轴跟踪支架: $\geq 4.0$ 倍工作扭矩。
- b) 验证方法:在锁定状态下施加反向扭矩,持续15 min后:机械结构无塑性变形,驱动系统无位移(精度 $\leq 0.05^\circ$ )。

#### 4.3.3.3 破坏性扭矩

破坏性扭矩是超过工作扭矩时导致跟踪部件永久破坏的扭矩,每个转动轴的破坏性扭矩可以有所不同。技术要求和安全裕度如下。

- a) 技术要求。破坏性扭矩应满足:
  - 1) 单轴跟踪支架: $\geq 5.0$ 倍工作扭矩;

2) 双轴跟踪支架: $\geq 6.0$ 倍工作扭矩。

b) 安全裕度:设计时应确保破坏性扭矩与工作扭矩的比值 $\geq 4.0$ ,以满足安全系数要求。

#### 4.3.4 驱动方式

##### 4.3.4.1 概述

常见的驱动方式有分布式驱动和联合驱动。在分布式驱动结构中,每个跟踪器和每个转动轴都是独立进行驱动和控制的;在联合驱动结构中,多个转动轴同时由单一驱动系统驱动,可以是单个跟踪器上的多个转动轴,也可以是多个跟踪器上的多个转动轴。

##### 4.3.4.2 分布式驱动

负载能力:单轴驱动扭矩 $\geq 1.5$ 倍额定载荷扭矩(按4.3.3.1要求)。

同步误差:多轴联动时角度偏差 $\leq \pm 0.2^\circ$ (按JJF 1352校准)。

响应时间:从控制指令发出到执行机构动作 $\leq 150$  ms。

冗余设计:每个驱动单元应具备独立故障诊断功能,单点故障不影响整体运行。

##### 4.3.4.3 联合驱动

负载分配:各驱动轴负载不均衡度 $\leq 10\%$ (按JB/T 11258测试)。

同步精度:主从轴角度偏差 $\leq \pm 0.5^\circ$ (持续跟踪状态)。

刚性要求:驱动系统扭转刚度 $\geq 500$  N·m/rad(按GB/T 2423.10测试)。

安全系数:驱动链强度安全系数 $\geq 3.0$ (按JG/T 490计算)。

#### 4.4 跟踪控制类型

##### 4.4.1 概述

跟踪控制是指通过使用电路、控制算法和执行器来调整太阳能跟踪支架的位置和角度,使光伏组件始终朝向太阳,并最大化光能的捕获效率。跟踪控制类型主要包括:主动控制和逆跟踪,其中主动控制包括开环控制、闭环控制和混合动力控制等。

##### 4.4.2 主动控制

###### 4.4.2.1 概述

太阳能跟踪系统主动使用所提供的电力来驱动电路和执行器(减速机、液压系统和其他机构)来控制跟踪器。

###### 4.4.2.2 开环控制

开环控制不直接检测转轴角度或光伏组件功率作为反馈,而是基于对太阳的数学位置计算(基于一天中的时间、日期、位置等),以确定跟踪器应该指向的位置,并相应地驱动执行器。

###### 4.4.2.3 闭环控制

闭环控制通过检测转轴角度或光伏组件功率输出等反馈来确定如何驱动执行器和控制跟踪器。

#### 4.4.2.4 混合动力控制

混合动力控制结合了太阳位置计算与闭环控制中使用的传感器数据或光伏组件功率输出等反馈,从而实现自动运行控制。

#### 4.4.3 逆跟踪

逆跟踪是指智能光伏跟踪的一种跟踪控制策略,逆跟踪不以最佳辐射角度进行跟踪,而是采用不产生遮挡且兼顾采光的跟踪方法进行跟踪。

### 4.5 能耗等级

#### 4.5.1 能耗等级定义

智能跟踪光伏支架的能耗等级是根据其能源消耗和能源管理性能评估而得出的分类指标。该等级旨在评估跟踪支架的能源利用效率和能耗水平,以促进能源节约和环境可持续发展。

#### 4.5.2 能耗等级划分

能耗等级Ⅰ:最低能耗,系统采用高效能源管理和智能控制技术,能耗极低。能耗占总发电量的比例 $\leq 5\%$ 。

能耗等级Ⅱ:低能耗,系统采用有效的能源管理和控制策略,相对较低的能耗水平。能耗占总发电量的比例为 $5\% \sim 10\%$ 。

能耗等级Ⅲ:中等能耗,系统具备一定的能源管理功能,但相对较高的能耗水平。能耗占总发电量的比例为 $10\% \sim 15\%$ 。

能耗等级Ⅳ:高能耗,系统在能源管理和控制方面存在较大改进空间,能耗较高。能耗占总发电量的比例 $> 15\%$ 。

(依据 GB/T 29320—2024 中的 5.4、NB/T 10634—2021 中的 5.3.2、JG/T 490—2016 中的 7.4)

#### 4.5.3 能耗等级评估指标

在评估智能跟踪光伏支架的能耗等级时,应考虑以下指标:

- a) 静态能耗:跟踪支架在待机状态下的能耗;
- b) 动态能耗:跟踪支架在进行太阳跟踪运动时的能耗。

#### 4.5.4 能耗等级评估方法

评估智能跟踪光伏支架的能耗等级可以使用实验测试、模拟仿真和数据分析等方法。根据能耗等级评估的标准,对跟踪器的能耗指标进行测量和评估,最终确定其所属的能耗等级。

#### 4.5.5 能耗组织的等级标识和认证

智能跟踪光伏支架的能耗等级应通过能源标签和认证方式进行标识和认证,以提供用户在购买和选择跟踪器时的参考依据。

## 5 跟踪器的工作要求

### 5.1 概述

跟踪器的工作要求主要包括跟踪系统元件、跟踪器内部智能算法、跟踪器内部公差、跟踪器外部元件和接口以及工作环境等因素,以确保跟踪器正常运行并且能够准确跟踪太阳轨迹。

### 5.2 跟踪器系统元件

#### 5.2.1 机械结构

机械结构是智能跟踪光伏支架的支撑框架,负责承载光伏组件,提供必要的强度和刚度,确保系统在各种场景下的稳定运行。

#### 5.2.2 跟踪控制器

跟踪控制器是由微处理器、电机驱动器、电源/变压器以及通信电路等控制电子设备组成。该设备共同负责管理跟踪器的运行,能够根据传感器数据调整光伏组件的位置,以确保最佳的太阳能接收效率。

#### 5.2.3 传感器

智能跟踪光伏支架的传感器主要用于实现闭环控制,它能够精确跟踪太阳轨迹并监测光伏组件的功率输出。智能跟踪光伏支架中配备用于控制驱动系统的传感器,如编码器和角度计,以确保跟踪系统能精确地跟踪太阳轨迹。智能跟踪光伏支架同时配备用于控制或监测天气数据的传感器,如温度传感器、风速传感器和风向传感器等,传感器有助于根据不同天气条件调整智能跟踪光伏支架,保证系统正常运行。

本系统中角位移传感器的校准流程与方法符合 JJF 1352 要求,确保跟踪精度测试数据的准确性和可追溯性。

## 5.3 跟踪算法

### 5.3.1 概述

跟踪算法旨在最大化太阳能的收集效率,该算法基于太阳的运动轨迹和时间信息,通过智能控制系统调整光伏组件的角度,确保太阳辐射始终垂直于光伏组件表面。跟踪算法的核心目标是在不同季节和天气条件中实现精确地跟踪太阳轨迹,从而最大限度地提高能源转化效率。跟踪算法可分为两种类型:传统跟踪算法和基于人工智能的跟踪算法。每种跟踪算法都可以根据其收集的信息控制光伏组件的转动以保证最佳的太阳能接收效率。

### 5.3.2 传统跟踪算法

#### 5.3.2.1 概述

传统跟踪算法是根据天文学原理或时间模型形成的算法,其可以确保太阳光始终垂直于光伏组件,最大程度地提高能量接收效率。

### 5.3.2.2 使用情况

传统跟踪算法应准确计算太阳位置,并调整光伏组件角度以最大程度地接收太阳辐射。对于大规模光伏发电系统,传统跟踪算法应实现高效的批量计算和集中控制。

### 5.3.3 基于人工智能的跟踪算法

#### 5.3.3.1 概述

基于人工智能的跟踪算法是利用计算机视觉技术或实时发电功率检测,通过处理光学图像或视频数据或发电功率数据对比,来实现对跟踪支架的运行角度调整,避免因复杂地形、云层等不利环境因素对组件产生阴影遮挡。

#### 5.3.3.2 使用情况

基于人工智能的跟踪算法通常在复杂多变的环境中表现良好,适用于各种天气条件和地理位置,包括阴天、多云,以及光照条件变化较大的区域。该算法能够迅速响应天气变化、光照波动以及其他外部因素,以最大程度地提高能源收集效率。

### 5.3.4 跟踪算法性能评估

#### 5.3.4.1 跟踪误差率

评估方法:通常通过传感器和软件算法来测量太阳的实际位置与跟踪系统的实际位置,误差一般用角度来表示。

#### 5.3.4.2 能耗效率

评估方法:计算跟踪系统的总能耗(包括电机、控制器等的能耗)与由于跟踪增加的发电量。理想情况下,增加的发电量应远大于系统的能耗。

电机能耗:了解电动跟踪系统的电机参数,包括额定功率、工作电压、电流等。根据电机的负载和工作时间来估算其能耗。

实际操作:

- a) 在光伏跟踪系统启动并开始运行时,启动功率计记录实时的电机功率消耗。
- b) 在不同时间段(如早晨、中午、傍晚)以及不同季节进行测试,考虑到电机负载的变化。
- c) 对比电机负载和电机功率,了解在不同负载情况下电机的能耗。

控制器能耗:基于光照的动态控制需要实时处理传感器输入,这比简单的时间表控制消耗更多的能量。

实际操作:

- a) 在不同控制策略下(如时间表控制、基于光照的动态控制)记录控制器的功耗数据。
- b) 在每个控制策略下记录电流、电压数据,计算其功耗。

传感器能耗:用于检测太阳位置、光照强度等的传感器也消耗一定能量,尤其是在动态跟踪系统中。

实际操作:

- a) 测量太阳位置传感器、光照传感器、温度传感器等在不同工作状态下的功耗。
- b) 记录每个传感器在运行时的功耗,并计算其长期能耗。

### 5.3.4.3 发电量提升率

定义:发电量提升率是指安装跟踪系统后,与固定安装系统相比,发电量的增加百分比。

评估方法:在相同条件下,有跟踪系统和无跟踪系统的光伏组件的实际发电量的增加百分比。通常需要在相同的地理位置、相同的光伏组件规格条件下进行对比测试。

## 5.4 跟踪器内部公差

### 5.4.1 概述

跟踪器内部公差是指在设计、制造和装配过程中,各组件之间允许的偏差范围。主要包括主轴公差、二次轴公差和驱动系统公差等。公差设计需区分静态、动态及极端载荷工况,并依据结构类型执行差异化控制。

### 5.4.2 主轴公差

主轴公差指的是在最终安装时,指定的主轴向量(例如垂直、水平、现场纬度倾斜)与实际主轴向量之间的总安装误差,单位可以是毫弧度或度,主轴公差也用于表示主轴的安装精度。

刚性结构:静态安装公差 $\leq \pm 0.5^\circ$ ;在设计雪压+50年一遇风压下,最大附加偏角 $\leq 1.0^\circ$ ,卸载后需恢复初始值;

柔性结构:额定风载(10 m/s)下运行偏角 $\leq \pm 1.5^\circ$ ,极限载荷卸载后24小时内回弹至初始偏角90%以上,残余变形 $< 0.2^\circ$ 。

### 5.4.3 二次轴公差

二次轴公差定义为理想或指定的二次轴向量与实际安装的二次轴向量之间的总安装误差,单位可以是毫弧度或度。

刚性结构:静态安装公差 $\leq \pm 0.3^\circ$ ,风雪载荷下变形补偿由控制系统完成。

柔性结构:初始张拉力偏差 $\leq \pm 10\%$ ,二次轴角度偏差纳入主索系统整体控制。

### 5.4.4 驱动系统公差

光伏跟踪驱动系统的公差指在设计、制造和运行过程中,特别是涉及传动装置的部分,允许的尺寸偏差范围。公差考虑了实际制造和使用中的不确定性,以满足系统的性能和功能要求。

## 5.5 外部元件和接口

### 5.5.1 概述

智能跟踪光伏支架的外部元件和接口是确保跟踪器与外部环境以及其他光伏组件有效交互的关键部分。主要包括外部支撑、基础接口和有效载荷接口等。

### 5.5.2 外部支撑

外部支撑是保障跟踪器可靠稳定运转的机构。

### 5.5.3 基础接口

#### 5.5.3.1 电气接口

电压等级:应符合设备运行电压,常见为DC 24 V或AC 120/240 V或DC 1 500 V。

电流容量:根据设备功率需求设计,如最大电流 10 A。

防护等级:至少应达到IP65防护等级,以防尘埃和雨水入侵。

#### 5.5.3.2 数据通信接口传输速率

以太网接口:至少 100 Mbit/s。

无线通信:LoRa传输速率通常在 0.3 kbps到 27 kbit/s之间,Zigbee数据传输速率一般为 250 kbit/s。

通信协议:应支持常用协议如Modbus TCP/RTU(对于有线)和MQTT(对于无线)。

安全性:数据传输应使用至少 128位加密。

#### 5.5.3.3 机械接口

承载能力:根据结构设计,如能承受至少 5 000 N的拉力。

耐腐蚀性:接口材料应能抵抗UV辐射和盐雾腐蚀。

耐久性:设计寿命至少为 25年,以匹配光伏组件的使用寿命。

#### 5.5.3.4 传感器接口精度

温度传感器:精度至少 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

光照传感器:精度至少 $\pm 3\%$ 。

风速传感器:精度至少 $\pm 0.5\text{ m/s}$ 。

响应时间:传感器数据更新频率至少为 1次/s。

#### 5.5.3.5 安全接口

紧急停止按钮:应能在不超过 1 s内完全停止所有运动。

过载保护应满足下述机制,并且响应时间不超过 30 ms:

- a) 电流过载保护:采用磁脱扣断路器或电子熔断器,当工作电流持续超过额定值 120%达 500 ms时切断电路;
- b) 机械过载保护:驱动器内置扭矩限制离合器,在传动轴扭矩 $\geq 2$ 倍额定扭矩时自动打滑脱离。

### 5.5.4 有效载荷接口

#### 5.5.4.1 概述

智能跟踪光伏支架有效载荷通常是指支架本身以及安装在支架上的光伏组件及相关设备等所能承受的最大负载。有效载荷接口是有效载荷和跟踪器之间的边界,它由有效载荷和跟踪器之间的连接方式和载荷传递方式来定义。主要包括有效载荷机械接口和有效载荷电气接口等。

#### 5.5.4.2 有效载荷机械接口

有效载荷机械接口是指在机械系统中用于连接和传输力、扭矩、运动或能量的接口,如螺纹接口、插销接口、卡扣接口等。

#### 5.5.4.3 有效载荷电气接口

有效载荷电气接口是指用于连接载荷、传感器、执行器等电气组件的接口。有效载荷电气接口在光伏跟踪技术中具有关键的作用,因为它涉及控制系统、电源供应以及数据通信等方面。

#### 5.5.5 接地接口

接地接口包括跟踪器在发生故障时的接地连接和静电放电保护的连接。

#### 5.5.6 控制接口

##### 5.5.6.1 概述

智能跟踪光伏支架的控制接口是支架与外部控制系统进行数据传输和通信的关键部分。主要包括人工接口和远程接口等。

##### 5.5.6.2 人工接口

人工接口是跟踪器上用于操作员控制某些功能的手动方法。包括使用开关或按钮来控制电机,以及使用紧急停止按钮来中断运动。

##### 5.5.6.3 远程接口

跟踪器的远程接口包括有线或无线通信方式,采用多种通信协议和用户界面设计。如基于远程Web的界面。

### 5.6 工作环境

#### 5.6.1 正常工作温度范围

正常工作温度范围指的是跟踪器能够正常运行并保持所需性能和功能的温度范围。通常来说,正常工作温度在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度范围能够覆盖大部分地区的极端温度条件,确保设备在各种环境下都能够可靠运行。

#### 5.6.2 风载荷

风载荷是指风遇到建筑物时在建筑物表面上产生的一种压力或吸力,也称为风的动压力,是空气流动对跟踪器结构和光伏组件所产生的压力,设计时需要考虑风的方向、动力放大效应、速度以及设备的结构强度等因素。

正常工作的最大风载荷是指跟踪器在最大风速下能够保持结构稳定性和安全性的风载荷:

- a) 大风保护状态:当风速达到预设阈值时,跟踪器自动驱动至安全倾角位置(如 $0^{\circ}$ 或特定避风角度)的停靠状态;
- b) 小风工作状态:在允许跟踪范围内(通常为风速 $\leq 15\text{ m/s}$ 时),跟踪器按控制策略调整倾角的运行状态。典型的跟踪器在上述工作状态下可承受的极限风载荷范围对应3s时距阵风风速为 $40\text{ m/s}(144\text{ km/h})\sim 60\text{ m/s}(216\text{ km/h})$ 。具体载荷值取决于:
  - 1) 设备设计参数:支架跨度( $L$ )、立柱高度( $H$ )、组件倾角( $\theta$ );
  - 2) 材料强度指标:结构钢屈服强度 $\geq 345\text{ MPa}$ ,铝合金 $\geq 240\text{ MPa}$ ;
  - 3) 气候条件:按GB 50009确定50年一遇基本风压(需 $\geq 0.45\text{ kN/m}^2$ )。

### 5.6.3 雪载荷

雪载荷是指在雪季或大雪天气条件下,跟踪器所受到的额定最大积雪负荷。设计时需要考虑雪的密度、积雪深度、支架结构以及地理位置等因素,以确保跟踪器能够承受住积雪带来的压力,保持稳定性和安全性。

### 5.6.4 地震作用

是指由地运动引起的结构动态作用,可以分为水平地震作用和竖向地震作用。设计时根据其超越概率,可以视为可变作用或偶然作用。

## 6 跟踪支架的机械性能要求

### 6.1 概述

光伏跟踪支架的机械性能是确保其在各种环境条件下有效、安全运行的基础。机械性能的关键方面包括结构强度、耐久性、可靠性和安全性,应符合国际标准,并适应安装地点的环境条件。

### 6.2 结构强度

#### 6.2.1 要求

结构设计应依据相关的工程标准进行强度与刚度计算和模拟。设计时需考虑到各种可能的负载组合,包括静态负载和动态负载,以及它们可能对结构造成的影响。

- a) 依据工程标准进行强度计算和模拟:设计跟踪支架的机械结构时,应严格遵循相关工程设计标准(如ISO、ASME、国家标准等),综合考虑结构弯矩和扭矩作用进行强度计算。强度计算应包括静态、动态及组合载荷的详细分析。仿真模拟可以运用有限元分析(FEA)方法,对结构进行全面的力学性能分析,确保设计满足强度要求。
- b) 静态负载和动态负载的考虑:设计过程中需要详细评估跟踪支架在不同工作状态下的静态负载和动态负载。静态负载包括设备自重、外部设备和操作环境(如风、雪)的压力等。动态负载应考虑设备在运动中的加速、减速、急停及振动对结构的影响。特别是在高负荷工况下,应计算并验证结构是否能承受长期运转中的负载变化。
- c) 负载组合对结构的影响:设计时需综合考虑静态负载和动态负载的不同组合,尤其是在极端工况下(如极端天气、地震等)。应进行负载叠加分析,确保结构在不同负载组合下的稳定性与安全性。此外,分析结构在长期运转中的疲劳性能,确保其在整个使用周期内不会因反复受力而发生破坏。同时,应通过风洞试验考虑结构抗风稳定性,结构在风载荷扭矩标准值作用下的扭转变形控制在 $5^{\circ}$ 以内。
- d) 结构设计需满足以下刚度指标:
  - 1) 静态变形:在额定负载(自重+设计风压)下,主梁挠度 $\leq L/250$ ( $L$ 为跨距),扭转轴角位移偏差 $\leq 0.1^{\circ}/m$ ;
  - 2) 动态稳定性:运行状态( $\geq 4^{\circ}/min$ )及阵风载荷下,共振频率 $\geq 1.5$ 倍驱动频率,瞬时振动幅值 $\leq 5\text{ mm}$ ;
  - 3) 极限承载变形:在设计极限风载(50年一遇)下,结构残余塑性变形 $< 0.2\%$ ,且风载扭矩标准值作用下的扭转变形 $\leq 5^{\circ}$ ,侧向风载下立柱顶端水平位移 $\leq H/200$ ( $H$ 为立柱高度)。

## 6.2.2 实施

通过使用高强度材料、有限元刚度分析,进行风洞测试和模拟地震测试,并在实地测试验证结构的承载能力,以确保设计的有效性。所有设计和测试结果应详细记录并定期审查,以适应可能的环境变化。

## 6.3 耐久性

### 6.3.1 要求

所有外露部件应使用耐腐蚀材料制造,并进行适当的表面处理,如热浸镀锌或阳极氧化。材料和处理方法应基于能有效抵抗特定环境条件选取。

- a) 材料选择:所有外露部件应选用具备良好耐腐蚀性能的材料,如不锈钢、铝合金、钛合金或其他抗腐蚀金属材料,依据实际使用环境(如海洋环境、高湿度地区或工业污染区域等)选择合适的材料。这些材料应具备足够的抗氧化、抗腐蚀和耐候性,确保在长期暴露于环境中时不易出现腐蚀、锈蚀或性能下降。
- b) 表面处理方法:外露部件的表面处理应根据具体环境条件进行选择。常见的处理方法包括热浸镀锌、阳极氧化、喷涂防腐涂层等。热浸镀锌适用于防止钢铁部件的腐蚀,阳极氧化处理则特别适用于铝合金部件,可提高其耐磨性和耐腐蚀性。

### 6.3.2 实施

定期进行耐久性测试,包括盐雾试验、风沙试验和UV老化试验,以确保材料和组件长期的稳定性。

## 6.4 可靠性

### 6.4.1 要求

采用高质量的驱动器和轴承,设计寿命应与光伏板的预期使用寿命相匹配,通常为25年以上。

- a) 高质量驱动器选择:驱动器应具有高效、稳定的传动性能,选用耐用材料并具备防护功能,确保长期运行中不会出现故障,满足光伏板25年使用寿命的要求。
- b) 耐久轴承选型:轴承应选用防水、防尘、抗腐蚀的高质量轴承,确保长期负载和周期性运动中的低磨损和低故障率,以匹配整体系统的使用寿命。
- c) 系统寿命匹配:跟踪支架的设计应确保所有关键部件(如驱动器、轴承等)与光伏板的预期使用寿命一致,进行充分的可靠性测试,确保长期稳定性和低维护需求。

### 6.4.2 实施

实施严格的质量控制流程,包括组件的入厂检验、装配过程监控和出厂测试,符合GB 50797要求,以确保每个组件都符合质量标准。应定期进行系统的性能评估,以进行必要时的组件更换。

## 6.5 安全性

### 6.5.1 要求

设计中应考虑安全特性,包括紧急停止按钮和过载保护机制,在风速过高时可自动转入安全位置等。

### 6.5.2 实施

进行安全性评估和认证,确保所有安全措施符合GB/T 50797要求。安装紧急停止系统和自动故障

检测机制,以快速响应潜在的安全威胁。定期对安全系统进行测试和维护,确保在需要时能可靠工作。此外,对操作人员进行安全培训,确保操作人员能够执行日常的安全检查,及在紧急情况下操作设备。

## 7 跟踪精度表征

### 7.1 概述

明确区分了瞬时指向误差和跟踪精度报告,并描述了测量指向误差的方法及如何处理数据以统计跟踪精度的报告。跟踪精度表征是单轴跟踪器的可选特性,如果单轴跟踪器经过跟踪精度表征,则允许制造商向测试实验室提交适合于单轴的修改计划,并记录在测试报告中。

### 7.2 指向误差(瞬时)

#### 7.2.1 概述

跟踪器的指向误差是垂直于光伏组件表面的指向向量和太阳光的指向向量之间的夹角。

#### 7.2.2 测量指向误差的方法

指向误差应通过安装在与光伏组件同一平面上的传感器直接测量,而不是依赖于跟踪器模型或控制器的值进行理论计算。该测量方法涵盖了整个跟踪系统,包括机械结构和电子控制系统。如果跟踪系统的任何组件发生变化,可能影响到跟踪精度,那么应重新进行指向误差的测量,以确保数据的准确性和系统的可靠性。

#### 7.2.3 指向误差测量工具的校准

用于测量指向误差的工具应单独校准,其精度至少要达到所需跟踪精度的三倍。校准过程应在阳光下或使用至少  $100 \text{ W/m}^2$  的人工光源进行,且准直度为  $1^\circ$  或更小。所要求的精度仅适用于被测跟踪器所需的视场。例如,跟踪精度监视器的全视场可以为  $\pm 3^\circ$ ,但在  $\pm 1^\circ$  的视场内,其精度可能达到  $\pm 0.02^\circ$ ,而在整个  $\pm 3^\circ$  的视场内,精度可能达到  $\pm 0.06^\circ$ 。因此,如果测试仅在  $\pm 1^\circ$  的视场内进行,那么适用的精度标准为  $\pm 0.02^\circ$ 。

## 7.3 跟踪算法精度

### 7.3.1 追踪误差

系统追踪误差是指跟踪器在指向太阳位置时的偏差范围。追踪误差以角度差为度量指标,偏差值应小于或等于  $0.5^\circ$ 。通过计算每个时间段下实际太阳位置与跟踪器指向位置之间的角度差,可进行误差的评估。在评估过程中,使用光照强度传感器采集的数据与期望的太阳位置进行对比,以确定追踪误差是否符合要求。

### 7.3.2 跟踪精度

系统的跟踪精度目标是在各种天气条件和环境影响下,准确跟踪太阳位置。系统应在常见天气条件下(如晴天、多云、阴天)实现 99% 以上的精度,确保光伏面板能始终面向太阳,从而获得最大的光照收集效率。为此,可进行针对不同天气条件的基准测试,并通过与实际太阳位置的对比来评估系统的跟踪精度。

系统的跟踪精度目标应符合 GB/T 38335 要求,确保光伏组件在晴天、多云等天气条件下发电效率

达标,并定期生成跟踪精度分析报告。

### 7.3.3 响应速度

系统的响应速度指的是系统在检测到太阳位置变化后调整光伏面板朝向所需的时间。系统应在太阳位置变化后 200 ms 内完成面板朝向的调整,以最大程度地优化光照收集效率。在测试过程中,应使用太阳位置变化模拟器来测试系统的响应速度,并记录面板调整朝向的时间。此外光伏支架进入大风保护时,系统应在至多 15 min 内将组件倾角调整为大风保护角度。

### 7.3.4 跟踪稳定性

跟踪稳定性是指系统在跟踪过程中的抖动情况。要求系统在强风、震动等环境条件下保持稳定,并不受外界干扰影响。系统在 3 s 时距瞬时风速 18 m/s 下的稳定性应符合 GB/T 37655 要求,确保建筑一体化光伏系统在极端气象条件下的结构安全和跟踪功能正常。通过环境测试和振动测试来评估系统在各种环境条件下的稳定性,并记录测试结果以确定系统的跟踪稳定性是否满足要求。

## 7.4 跟踪器精度

### 7.4.1 概述

为评估跟踪精度,使用指向误差传感器进行至少 5 d 的数据测量,并基于 4 m/s 的阈值将数据分为高风速组和低风速组。随后过滤数据,分别计算每一组的统计数据,并报告相应的跟踪精度。

### 7.4.2 数据收集

#### 7.4.2.1 跟踪器设置

跟踪器应按照制造商的建议进行安装。最大额定有效载荷应安装在跟踪器上,用于精度测试,每个区域的质量和质心位置与最终应用的匹配度在  $\pm 20\%$  以内。

#### 7.4.2.2 传感器安装

在传感器安装方面,首先在估计位置安装一个指向误差传感器,以便于捕捉跟踪平面的最大偏度,通常是跟踪平面的拐角或边缘处。第二个指向误差传感器则应安装在跟踪平面的中心或最小偏转点。

传感器的对准过程包括以下步骤,安装传感器以跟踪太阳轨迹,并监测传感器的方位角和仰角;在太阳中午 1 h 内,微调传感器,确保方位角和仰角输出距离不超过  $0.05^\circ$ 。一般情况下,传感器的总体对准是通过太阳黑子或阴影对准实现,但在监测方位角和仰角时需要进行微调。

高精度对准通常需要将每个传感器安装到跟踪器上,采用一种三点固定的弹簧加载方式,根据需求调整配置,以实现不同的加载状态或性能(如果方位角和仰角测量值在单独的设备中,则安装两点)。如果机械调整无法实现在  $0.05^\circ$  范围内的对齐,则可以通过数据采集系统或对整个数据集进行偏移校正对齐。

对准程序完成后,使用 15 min 的晴空数据来确定在剩余的数据收集期间内每个传感器的偏移量。选用两个传感器的 15 min 数据绘制在同一图表上,并在测试报告中提供。校准周期指定在太阳中午左右,因为每个监视器的指向向量可以随着跟踪器的变化而变化。通过在太阳中午左右对齐传感器,跟踪精度的统计数据参考了一天中直接正常辐照度(DNI)达到最高值的可用时间。

传感器的对准校准周期和流程应符合 GB/T 38335 要求,确保跟踪系统精度测试数据的可靠性。

### 7.4.2.3 数据记录参数

记录应包括以下数据。

- a) 跟踪器指向误差= $\sqrt{\text{方位角误差}^2 + \text{仰角误差}^2}$ 。单轴跟踪器应删除不相关的方位角或仰角项。
- b) 直接正常辐照度(DNI)。
- c) 整体正常辐照度(GNI)。
- d) 风速。
- e) 日期和时间。

跟踪器指向误差以1 min瞬时增量记录。

辐照度测量以1 min平均增量记录。

对于10 m高度的10 min平均风速,风速数据应以1 min为增量报告。风速测量应符合JB/T 11258的要求。

数据应记录至少5 d,每天的DNI至少为2 400 Wh/m<sup>2</sup>。

应报告测试的日期和位置,以方便评估数据收集的充分性。

### 7.4.3 据按风速分组

如果小于或等于4 m/s的风阈值,则数据为低风速组,如果大于4 m/s,则为高风速组。制造商可以选择报告其他风速组的跟踪精度与风向的关系来统计数据。

### 7.4.4 数据过滤

#### 7.4.4.1 概述

所有的数据过滤都应记录在跟踪精度测试报告中。

#### 7.4.4.2 过滤范围内的数据

如果跟踪器制造商指定了最大的范围,应删除太阳超出此指定运动范围时发生的所有数据。

#### 7.4.4.3 过滤最小辐照度数据(可选)

包括以下内容:

- a) 删除当DNI小于250 W/m<sup>2</sup>时记录的所有数据;
- b) 删除当DNI与GNI的比值小于0.25时记录的所有数据;
- c) 当指定用于低辐照度应用的跟踪器时,应选择不进行辐照度过滤。

#### 7.4.4.4 其他数据过滤

如果对数据进行了任何额外的过滤,则应在报告中特别说明。

示例: a) “由于观察到树叶遮阳,3小时的数据被删除。”

b) “由于数据记录系统的故障,其中一次测量当天没有记录2小时的数据”。

c) “因为跟踪器故障,其中一天测量的30分钟数据被丢弃”。

### 7.4.5 数据集

对于四个数据集(“低风,最小偏转测量”“大风,最大偏转度测量”等)中的每一个,确保有足够数量的数据点。

每个指向误差传感器的数据应满足以下标准：

- a) 经过上述过滤后,至少有 360 个数据点；
- b) 数据至少来自 5 d,每天至少有 50 个数据点；
- c) 高风速下的点数(180 个)；
- d) 中午前至少有 50 个数据点,中午后至少有 50 个数据点。

#### 7.4.6 精度计算

跟踪精度测试报告的内容和格式应满足 GB/T 37655 要求,包括典型精度、95<sup>th</sup>百分位精度及风速分组分析,作为工程验收的依据。对于每个数据集,计算以下两个值：

典型精度,为过滤后数据集上的指向误差的中值。所有记录的指向误差值均为正值;因此,“典型精度”将是一个大于零但小于 95<sup>th</sup>百分位精度的值。

95<sup>th</sup>百分位精度为经过过滤的数据集上的指向误差的 95<sup>th</sup>百分位数值。也就是说,95% 的测量数据点都低于此误差。

注：95<sup>th</sup>百分位精度表明,跟踪精度的统计分布并不遵循正态分布规则。计算出的精度值可以制表,“低风”组和“高风”组的平均风速如表 1 所示。

表 1 跟踪精度报告

风速分组	低风		强风	
	典型精度	95 <sup>th</sup> 百分位精度	典型精度	95 <sup>th</sup> 百分位精度
最小偏转点	0.4	0.8	0.5	1.0
最大偏转点	0.7	1.2	0.8	1.4
低风速 < 4 m/s(测量平均=2.6 m/s)。 高风速 > 4 m/s(测量平均=6.3 m/s)。				

## 8 跟踪系统检测

### 8.1 目视检测

#### 8.1.1 目的

目视检测的目的是在整个跟踪系统结构中发现任何可能存在的视觉缺陷,该项检测通常在其他测试之前和之后进行。

#### 8.1.2 程序

在进行目视检测时,需要仔细检查每个部件和整个跟踪器,寻找以下情况,并以书面和摄影形式记录发现的所有缺陷：

- a) 断裂、破裂、弯曲或错位的零件、外表面或结构部件；
- b) 电气连接器、互连件或母线上的视觉腐蚀；
- c) 外壳表面的外观腐蚀；
- d) 螺钉、螺母和垫圈的外观腐蚀；
- e) 螺丝、螺栓、螺母或垫圈是否松动；
- f) 断裂、磨损或其他损坏的电线或电缆；
- g) 有故障的端子,或暴露的带电电气部件；

h) 其他可能影响功能、性能或安全性的缺陷。

同时,需要记录任何在测试过程中恶化或改变的视觉状况。对于松动的螺钉、螺栓和螺母,应按照制造商的安装说明进行拧紧。

### 8.1.3 要求

通过初步目视检查,不应存在安全问题或影响驱动能力的缺陷:

- a) 带电部件上有积水时,则该部件不适合运行;
- b) 端子故障或松动;
- c) 暴露的带电电气部件或载流导体;
- d) 损害良好结构功能或对跟踪器周围的人员造成潜在伤害的裂缝;

所有其他可能存在的安全问题都应记录在测试报告中,但此问题本身不会导致测试失败。

## 8.2 功能检测

### 8.2.1 目的

功能检测的目的是确保跟踪器符合设计规范。功能检测的结果依赖于驱动系统和控制系统的综合表现。如果部件中的任何一个因检测过程而发生变化,应重复进行功能检测,以确保新的设计仍符合相关标准。

### 8.2.2 跟踪限制验证

跟踪器应按照 11.1 的规定进行安装。跟踪器应被命令或以其他方式驱动,使其在每个轴上移动到两个极端的跟踪极限。需要验证跟踪器的运动是否会在预设的极限位置自动停止,并且该极限位置应以度为单位进行记录。

### 8.2.3 硬限位开关操作

此测试仅适用于存在硬限位开关的系统。跟踪器应超出每个正常跟踪限制,从而触发每个硬限位开关。在测试中,应验证当跟踪器与每个硬限位开关接触时,运动会停止,并且驱动系统的电源电路已经断开。

### 8.2.4 停电后的自动太阳跟踪和反馈传感器阴影

跟踪器应处于自动日光跟踪模式,跟踪器控制器和跟踪器驱动系统的所有电源应中断(制造商内置电池备份除外)至少 1 h。1 h 后,跟踪系统应恢复供电。跟踪器在电源恢复后不必返回到正对太阳上的位置,但可以通过自动校准返回到正对太阳上的位置上,测试应在中午前后 2 h 内进行,确保太阳清晰可见,从而可以准确评估跟踪器从电源恢复到重新精确跟踪太阳所需的时间。如果跟踪器控制器采用太阳位置传感器的主动反馈,应重复上述测试;在此情况下,太阳位置传感器应保持通电状态 1 h。测试应在中午后 2 h 内进行,期间太阳应清晰可见。应记录并报告从去除任何可能的阴影干扰到跟踪器重新定位到太阳所需的时间。

### 8.2.5 手动操作

本测试仅适用于包含手动操作模式的跟踪器。测试中应包括手动控制的检验,以验证操作员是否能够在两个方向上驱动跟踪器的两个轴。此外,还需验证在跟踪器处于自动跟踪太阳模式时,手动控制是否能够有效覆盖自动控制。

### 8.2.6 紧急停止

此测试仪适用于包含紧急停止选项的跟踪器。在测试中,当启动紧急停止功能时,应验证跟踪器的运动能在1 s内完全停止,并且驱动系统的供电电路已被机械方式断开。尽管来自风或其他外力的振动运动是可接受的,但主要运动仍应迅速且完全停止。

### 8.2.7 维护方式

此测试仪适用于包含维护模式选项的跟踪器。在测试中,应切换至维护模式,并验证跟踪器是否正确地移动到了维护位置。

### 8.2.8 工作温度范围

由于成本和环境问题,运行温度范围的验证将不会在室外条件下进行。跟踪器将在制造商规格表中规定的最高和最低运行温度下,确认驱动系统和控制系统的运行情况。

### 8.2.9 大风保护功能测试

风载荷测试专门针对包含风载选项的跟踪器。风力传感器应按照制造商的规定连接到跟踪器的控制系统上。在测试过程中,可以使用风扇或其他方法生成足以超过触发静止位置的风速。测试的目的是验证当风力传感器检测到超过指定风速时,跟踪器是否能够自动移动到静止位置。为了确保在实际风力条件下,跟踪器能够采取措施减少风载荷影响,保护结构的完整性和功能性。

## 8.3 性能检测

### 8.3.1 目的

性能检测的目的是量化跟踪器的能耗和存储时间,性能检测的结果应取决于驱动系统和控制系统的组合。

### 8.3.2 日能耗和峰值功耗

跟踪器的电源电路应配备能量和功率传感器(精度应为1%或更高)。在整个跟踪精度测试期间,至少每5 min记录一次能耗测量。为了检测峰值功耗,功率测量应在1 Hz或更快的频率进行采样。

测量结果应分为主动跟踪和非跟踪两种类型。然后将记录的能耗测量值取平均值,以确定主动跟踪和非跟踪的平均每小时能耗。将此值都乘以12以计算出12 h内的总能耗。记录的峰值功耗测量值应分为主动跟踪和非跟踪两种类型。应确定两组数据的峰值功耗,如果使用交流电源,还应报告两组峰值的功率消耗。

### 8.3.3 储存时间,储存能源和能耗

跟踪器应放置在距离制造商指定的支架位置最远的位置。跟踪器的电源电路应配备能耗传感器(精度应为1%或更高)。在启动时间和功率测量的同时,应触发跟踪器移动到存储位置。应报告所需时间和能量使用情况。同时,还应记录峰值功耗。

检测过程中的平均风速应与储存时间、储存能耗和峰值功耗一起报告。

## 8.4 机械结构检测

### 8.4.1 概述

机械结构检测是确保结构在设计和使用期间保持其完整性和功能性的关键过程。包括通过一系列的测试和分析来评估结构性能,如自振频率、阻尼性能、应力应变分析等。该检测帮助识别潜在的结构问题,预防故障,并确保结构安全运行。机械结构检测不仅适用于新设计的评估,也适用于现有结构的维护和监控。

### 8.4.2 自振频率和阻尼性能检测

#### 8.4.2.1 目的

自振频率和阻尼性能检测的主要目的是确保机械结构在遭受外部动态负载,如风力、地震或机械振动时的稳定性和安全性。通过检测,可以预防结构共振现象,此现象可能导致结构损坏或失效。适当的阻尼可以有效减少振动幅度,提高结构的耐久性。

#### 8.4.2.2 要求

进行自振频率和阻尼性能检测时,应使用精确的测量设备和科学的方法。要求结构的设计团队提供详细的设计数据和预期的性能指标。检测应覆盖所有关键的结构组件,并且应在不同的加载条件下进行,以全面评估结构的动态性能。

#### 8.4.2.3 程序

程序如下。

- a) 模拟和计算:在设计阶段,使用有限元分析软件进行模拟,计算结构的自振频率和预期的阻尼比。分析结果应用于优化设计,调整结构参数以避免潜在的共振问题。
- b) 实地测试:在安装后,进行实地振动测试以验证计算结果。测试结果应与设计预测相符合,任何偏差都需要进行结构调整或增加阻尼措施。
- c) 持续监控:安装振动监测系统,持续观察跟踪器的振动特性。系统可以实时监测并记录关键的振动数据,以便及时发现问题,定期评估振动数据,与设计标准进行对比,确保长期内结构的稳定性和安全性。
- d) 维护和调整:根据监测数据和定期检查的结果,对跟踪器的结构和阻尼系统进行必要的维护和调整。维护和调整可能包括更换疲劳损伤的部件、调整连接件的紧固或增加额外的阻尼材料。

## 8.5 环境检测

### 8.5.1 目的

环境检测的目的是识别和分析可能导致跟踪器故障的因素。故障或损坏通常是由于驱动系统、控制系统及其相关电路在各种环境条件下工作造成的结果。

### 8.5.2 程序

#### 8.5.2.1 安装与初步检查

制造商应为实验室提供在测试环境中安装驱动系统的方法。当驱动系统和控制系统安装完毕后,应

拍摄照片并完成目视检查。在环境循环条件下,在制造商规定的操作温度范围内,应反复验证测试典型的占空比策略。测试实验室应使用摄像机或其他合适的设备监控驱动系统,以验证在测试进行期间,占空比策略的正常发生。

#### 8.5.2.2 占空比策略要求

一个典型的占空比策略应通过其应用于跟踪太阳的全运动轨迹,从而使每个适用的转动轴移动。每个转动轴应以至少 $0.005^\circ/\text{s}$ 的最小平均转速移动,且不快于 $0.015^\circ/\text{s}$ 的最大平均转速。对于具有闭环控制的控制器,可能需要将来自太阳传感器的模拟信号作为反馈,在此情况下,测试报告应记录所述的反馈传感器是不属于环境测试的一部分的。

在占空比策略执行期间,驱动系统的振动特性需符合 GB/T 2423.10 中规定的正弦振动耐受性要求。

#### 8.5.2.3 温度控制措施

制造商应提供在测试环境中重复应用的占空比策略,也可提供在关键设备表面温度超出规格表上列出的操作温度范围时停止操作的方法。制造商应规定哪些关键设备表面温度将决定占空比开关。使用表面温度而不是测试环境温度,因为具有较大热质量的驱动系统将明显滞后于测试环境的空气温度。在进行室内测试时,驱动系统不需要在任何特定负载,应将占空比策略轮廓、表面温度位置和操作温度记录在测试报告中。

#### 8.5.2.4 负载应用

在开始环境测试之前,每个转动轴应加载到指定的最大有效载荷。指定的最大有效载荷不包括风载荷或其他可能发生在室外环境中的外部载荷,而是与正常有效载荷界面和有效载荷本身相关联的静载荷(即,与组件、镜像相结合的结构框架的重量)。最大指定的有效载荷可以通过任何适当的方法作为一个单独的扭矩施加到每个转动轴上。

#### 8.5.2.5 环境测试顺序

运行的传动系将按以下顺序对单个样品进行以下环境测试。

- a) 进行至少40次循环,总时长480 h。最高温度设定为 $55^\circ\text{C}$ ,最低温度设定为 $-20^\circ\text{C}$ 。若设备应用于高寒( $\leq -40^\circ\text{C}$ )或高温( $\geq 70^\circ\text{C}$ )地区,测试范围应扩展至实际极限温度(按 GB/T 2423.22 方法执行),扩展测试时, $-40^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ 每点持续 $\geq 30\text{ min}$ 。 $-20^\circ\text{C}\sim 55^\circ\text{C}$ 是最基本的测试条件,但应根据需要采用更极端的温度值,每个温度点应至少保持5 min,但不超过15 min,每个温度测量点应记录在册。在前240 h内,应在驱动系统的动态机械界面周围循环粉尘测试,可以使用临时结构来局部容纳循环粉尘测试区域,而不是在整个测试环境中循环。在粉尘循环测试中应使用风扇或其他机制确保空气中粉尘的循环。由于粉尘会在驱动系统表面沉积和聚集,可能需要在240 h内定期向风扇系统中添加额外的粉尘。整个测试过程中应每10 min记录一次空气中可见粉尘的视频、照片或其他记录。或在480 h的温度循环开始前,在规定工作温度下完成240 h的循环粉尘测试,宜将粉尘和温度循环结合进行,可以缩短测试时间,并且避免因温度变化导致的密封件和其他部件的膨胀和收缩。
- b) 温度循环完成后,应暂停驱动系统的运行,并将测试环境保持在规定的最低工作温度,直到驱动系统表面达到该温度。最低运行温度应额外保持1 h,之后启动驱动系统的占空比策略,并确认跟踪器在5 min周期内是否按预期运行。如果驱动系统在30 s内无法运行,应停止测试以避免损坏驱动系统。最后在规定的最高操作温度下重复上述步骤。

- c) 完成 10 次循环,总时长 240 h。每个循环包括从湿热(85% 相对湿度和 55 °C)到最低温度(−20 °C)的交替变化。如果跟踪器的规定工作温度范围超出−20 °C~55 °C,则应相应扩大测试的温度范围以符合规格要求。循环中应在驱动系统上 3 个不同测点的每个平均表面温度测量值的±3 °C 处至少停留 5 min。温度测量点应记录,并确保表面测量是在与被测系统相关的具有显著热质量的物体上进行。
- d) 在完成湿度冻结循环后,将测试环境温度调至 25 °C,并保持此温度 24 h。对驱动系统和控制箱进行四面喷水处理。使用直径为 6.3 mm、流量为 15.5 L/min(±5%)的低压稳定流水喷嘴,喷嘴应放置在距离跟踪器驱动系统和外壳表面 2.5 m~3 m 的位置。对于大面积区域,喷水时间应至少为 1 min/m<sup>2</sup>。

喷涂完成后,测试环境温度降低至−15 °C。测试环境应保持在−15 °C和 24 h,然后关闭。

#### 8.5.2.6 中间检查

在每个连续的环境测试部分之间,应打开测试环境,并完成目视检查。流体泄漏、腐蚀和其他外部磨损,这不是故障,但可能是未来的关注,应与照片一起记录。

#### 8.5.2.7 最终占空比测试

在完成最后的湿度冻结试验后,驱动系统应进行最终的连续占空比测试。每个转动轴应承受最大规定的有效载荷。规定的最大有效载荷可以通过任何合适的方法单独作为扭矩施加到每个转动轴上。除非这是测试满载驱动系统的最经济方法,否则不建议将实际有效载荷结构直接连接到被测试的驱动系统上。例如,可以使用杠杆臂连接到转动轴,并按照制造商的建议施加相应的重量。应记录完成最终占空比所需的时间。完成测试后,应进行最终的外部视觉检查,并使用照片记录任何液体泄漏、腐蚀、磨损或其他异常情况。外部目视检查完成后,应拆卸驱动系统和控制箱,并对内部部件进行相同的检查和记录。

#### 8.5.3 要求

为通过加速环境测试,应符合以下条件。

- a) 驱动系统应能够完成程序中规定的连续占空比(程序中规定的允许停机除外)。
- b) 驱动系统应能够在最终的湿度冻结试验后和拆卸前完成最终的占空比。
- c) 进水口不应干扰设备的正确运行。
- d) 根据以下清单,不应在任何外壳或驱动系统的任何部件上发现重大裂纹(所有其他裂纹均应记录下来):
  - 1) 润滑油从系统排出的裂缝;包括缓慢泄漏;
  - 2) 跟踪器周围工作人员造成潜在伤害的裂缝;
  - 3) 会影响跟踪器声音电气功能的裂缝。
- e) 接线不应存在暴露导线材料的磨损。
- f) 不应存在有故障或松动的端子。
- g) 不应存在有安全隐患的螺钉、螺栓、螺母或垫圈。所有松动的螺钉、螺栓、螺母或垫圈都应记录在测试报告中。

### 9 跟踪器电子元件检测

#### 9.1 概述

跟踪器电子元件主要包括控制单元、电源、传感器、编码器和外壳。跟踪器的控制系统可以通用,故

对跟踪器电子元件的检测只需进行一次。检测方式主要有目视检测、功能检测等。

## 9.2 目视检测

目视检测用于识别跟踪器电子元件中的任何视觉缺陷。其主要目的是保证所有电子元件在装配和使用前没有受到损害或出现恶化的情况。

## 9.3 功能检测

### 9.3.1 目的

功能检测用于确认电子元件是否可以按照设计要求正确执行其功能。其主要目的是保证跟踪器中的每个电子元件都能在实际工况条件下有效运行,从而保证跟踪器的性能与可靠性。

### 9.3.2 程序

电子元件应按照 7.4.2.1 中的规定安装在室外的跟踪器上,或安装在测试设备中。

如果安装在室外,应完成以下程序以检测其功能。

- a) 在晴朗天气条件下,进行 4 h 的光照跟踪测试。
- b) 验证设备在每个旋转方向上移动每个相关轴的能力。
- c) 如果系统包含存储功能,验证是否能够成功触发并实现存储。
- d) 确认在触发所有开关(包括停止运动开关,如限位开关、手动开关、停止开关、硬限位开关)时,能够立即停止系统运行。开关应通过机械方式触发,具体触发方式可根据具体情况确定。
- e) 如果系统支持手动控制,确认所有手动功能是否可以按照预期工作。
- f) 各电子元件应连接到适合其设计的驱动装置(例如液压泵、直流电机、交流电机等)。编码器、反馈传感器、限位开关及所有其他电子元件也应整合到驱动装置中。如果控制单元需按预设方式工作,应允许制造商为驱动装置提供适当的负载。
- g) 验证各控制单元是否能够在所有相关方向上正确地移动各执行器。
- h) 确认控制系统能够将每个执行器准确地移动到预定位置。如果控制单元使用来自太阳传感器的反馈,应确保在至少  $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$  的光照下,准直角不超过  $1^\circ$ 。光源与反馈传感器应保持对准,对准完成后,确认控制系统稳定,所有驱动停止。然后将光源旋转角度扰动  $1^\circ$ ,检查驱动系统是否有响应并重新与光源对齐。对所有旋转方向重复此过程,并对  $5^\circ$  的扰动进行同样的测试。
- i) 测量以下位置的电流和电压:
  - 1) 控制器电源处电流与电压;
  - 2) 控制器与继电器、阀门、传感器或驱动器连接处的电流与电压;
  - 3) 驱动装置电源处电流与电压。

### 9.3.3 要求

要求如下。

- a) 应完成程序中列出的所有验证工作。
- b) 如果已完成室外测试,在最小拐点和低风条件下,跟踪精度应保持在 20% 以内。由于反馈和其他传感器可能需要从跟踪器中移除以进行电子元件测试,因此预计在重新安装传感器后,会重新校准指向误差。
- c) 所有电流和电压测量应在测试开始前符合制造商规定的正常范围。在初始和最终功能检测中,最大电流和电压的测量值应相差不超过 15%。

## 9.4 IP等级检测

### 9.4.1 目的

所有电子元件外壳需进行IP等级检测,IP等级定义了外壳对内部提供保护的程  
度,防止固体异物或水尘渗透、防止接触危险部件。

### 9.4.2 要求

所有电子元件外壳至少应满足IP65等级的要求。检测按照GB/T 4208的标准进行。如果用于电子元件的外壳已经被认证达到至少IP65等级,则不需要进行该检测。

## 9.5 IK等级检测

### 9.5.1 目的

所有电子元件外壳需进行IK等级检测,IK等级定义了外壳提供抗机械冲击的程  
度。确保电子元件在受到机械冲击时能够提供足够的防护,保护人员安全并保持元件的正常运行。

### 9.5.2 要求

使用GB/T 20138中描述的摆锤,按照GB/T 20138进行试验。设备在-10℃下预处理1h,在预处  
理后1min内进行检测。本试验的方法见GB/T 20138。所有电子元件外壳至少应满足IK05等级的要  
求。如果用于电子元件的外壳已经被认证达到至少IK05等级,则不需要进行该检测。

## 9.6 端子鲁棒性检测

### 9.6.1 目的

端子鲁棒性检测是评估电子设备中使用的连接端子(通常是用于连接电线或其他电子元件的端子)  
在面对不同应力和环境条件下的耐久性和可靠性。

### 9.6.2 端子类型

考虑以下三种类型的组件端子:

- A类:导线或飞行导线;
- B类:螺纹螺钉、螺丝等;
- C类:连接器。

### 9.6.3 A类端子

拉伸试验:进行Ua试验,并附有以下规定:

- 所有的终端都应进行检测;
- 抗拉力不应超过零部件的重量。

弯曲试验:进行Ub试验,并附有以下规定:

- 所有的终端都应进行检测;
- 执行10个循环(一个循环是每个相反方向的一个弯曲)。

#### 9.6.4 B类端子

拉伸和弯曲试验:

- a) 对于带有暴露端子的组件,每个端子都应按照A类端子进行检测;
- b) 如果端子封闭在保护箱中,应采用以下程序。

使用组件制造商推荐的端子试样,切割至适当长度,并连接到盒内端子。然后按照A类端子进行检测。

扭矩测试:进行Ud实验,并附有以下规定:

- 所有端子都应进行检测;
- 除螺母或螺钉是为永久连接而特别设计的,否则测试后应能够松动。

#### 9.6.5 C类端子

使用组件制造商推荐的端子试样,切割至适当长度,连接到连接器的输出端。然后按照A类端子进行检测。

#### 9.6.6 要求

电子元件应通过目视检测和功能检测,并且没有机械损伤。

### 9.7 浪涌抗扰检测

#### 9.7.1 目的

浪涌抗扰检测用于检测电子设备对电力系统中突发电压浪涌的抵抗能力。确保设备在电力系统异常情况下的稳定性和可靠性。

#### 9.7.2 程序

跟踪器系统中的所有电子设备、控制器和电源应符合GB/T 17626.5—2019中的要求。跟踪器电子设备应视为EMC标准第3类(对外部电磁干扰具有一定的抵抗能力,并且在一定程度上可以在较为复杂的电磁环境中正常运行)。

#### 9.7.3 要求

如果GB/T 17626.5—2019中第9章的d)正确(功能恢复或退化不可恢复),则受GB/T 17626.5—2019规定的电子设备不应通过。应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

### 9.8 装载抗振检测

#### 9.8.1 目的

装载抗振检测目的是识别系统机械弱点,并确定指定参数是否存在恶化情况。根据GB/T 2423.5规定,运输过程中暴露于谐波振动的结构元件或设备需进行该检测。

#### 9.8.2 规格

频率范围:11 Hz~11.8 Hz;10.9 Hz~150 Hz。

恒定振幅:3.5 mm。

循环:1 r/min。

单轴测试时间:2 h。

总测试持续时间:6 h。

### 9.8.3 程序

请参见 GB/T 2423.5 试样在检测期间不通电,但可以包装,如设计用于运输。

### 9.8.4 要求

应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

## 9.9 紫外线检测

### 9.9.1 目的

紫外线检测目的是确定跟踪器承受紫外线(UV)辐射的能力。

### 9.9.2 仪器设备

该设备包括以下各项。

- 一种受温度控制的测试室或带有紫外线光源和固定装置(用于固定被测物)的其他装置。腔室应能够将温度保持在 $(60\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 和干燥状态。
- 一种紫外线光源,能够在跟踪器的测试平面上产生辐照度均匀性为 $\pm 15\%$ 的紫外线辐射。测试报告应说明使用的紫外线光源。
- 一种测量和记录跟踪器表面温度的方法,其精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
- 一种经过校准的辐射计,能够测量测试平面上的紫外辐照度。

### 9.9.3 程序

程序如下。

- 使用校准的辐射计来测量拟用跟踪器测试平面上的辐照度,并确保在波长在 $280\text{ nm}\sim 400\text{ nm}$ 。测试光谱辐射照度不超过五倍的标准光谱辐射照度(AM1.5),没有明显的辐照度波长低于 $280\text{ nm}$ 。
- 在保持跟踪器温度在规定范围内的同时,使部件的最低辐照度为 $15\text{ kW}/\text{m}^2$ 在 $280\text{ nm}\sim 400\text{ nm}$ 的波长范围内,在 $280\text{ nm}\sim 320\text{ nm}$ 的波长带内占总能量的 $3\%\sim 10\%$ 。
- 重新定位跟踪器,使其背面垂直于紫外辐照度光束。

### 9.9.4 要求

应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

## 9.10 热循环检测

### 9.10.1 目的

热循环检测的目的是确定跟踪器承受由温度反复变化引起的热失配、疲劳和其他应力的能力。

### 9.10.2 程序

电子元件应进行200次热循环,其中最高温度为85℃,最低温度为-40℃。

- a) 在室温下将跟踪器安装在检测腔内。如果部件外壳导体不良,则将部件安装在金属框架上。
- b) 将温度传感器(精度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ )连接到跟踪器表面。将绝缘监视器连接到一个端子与框架支撑结构之间。
- c) 关闭检测腔室,使跟踪器周围的空气流速不小于2 m/s,并根据跟踪器轮廓进行循环。
- d) 在整个测试过程中,记录跟踪器温度并监控部件,以检测在暴露过程中可能出现的任何故障。

### 9.10.3 要求

应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

## 9.11 冷冻检测

### 9.11.1 目的

冷冻检测的目的是确定跟踪器在极低温环境下的承受能力。

### 9.11.2 程序

该部件将进行10次冻结循环,最高温度为85℃,最低温度为-40℃。

- a) 在室温下将被测元件安装在测试室内。如果部件外壳导体不良,则将部件安装在金属框架上。
- b) 将温度传感器(精度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ )连接到部件表面。将绝缘监视器连接到一个端子与框架支撑结构之间。
- c) 关闭腔室,并根据轮廓对跟踪器进行循环。最高温度和最低温度应保持在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内,相对湿度应保持在 $\pm 5\%$ 以内。
- d) 在整个测试过程中,记录部件温度并监控部件,以检测暴露过程中可能发生的任何故障。

### 9.11.3 要求

应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

## 9.12 潮湿检测

### 9.12.1 目的

潮湿检测目的是确定跟踪器在长期湿度渗透工况条件下的承受能力。

### 9.12.2 程序

在室温下将组件安装在测试室内,组件将在 $(85\pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度、 $(85\pm 5)\%$ 的相对湿度环境下运行1 000 h。

### 9.12.3 要求

应满足最终的目视检测和功能检测的要求。

## 10 包装与运输

### 10.1 包装要求

#### 10.1.1 包装材料

包装材料应选用符合环保要求、能够保护光伏跟踪支架的材料。常见的包装材料包括泡沫塑料、胶囊纸板、塑料薄膜等。确保所选包装材料具有足够的强度和耐用性,可以有效吸收冲击以及防止损坏。

#### 10.1.2 包装容器

选择刚性、耐用的包装容器,以确保光伏跟踪支架在运输过程中不会受到压力、碰撞和扭曲。

#### 10.1.3 包装标识

在包装容器上明确标识产品名称、数量、重量、生产日期、厂商信息等相关信息。此外,还需要标明易碎、轻拿轻放、保持干燥等相关标识,以提醒操作人员在搬运和储存过程中应注意的事项。包装标识内容应符合 GB/T 50796 要求,确保到货验收时信息可追溯。

#### 10.1.4 防震和防振措施

在包装过程中,采取适当的防震和防振措施,例如在包装容器中添加缓冲材料、填充物等,以减少冲击和振动对光伏跟踪支架的影响。确保包装容器和包装内部的稳定性,从而保护产品的完整性。

#### 10.1.5 防潮和防水措施

采取适当的防潮和防水措施,使用防水包装材料、密封胶带等,以确保光伏跟踪支架在运输过程中不会被水分侵入导致损坏。

#### 10.1.6 防尘和防污措施

为了保护光伏跟踪支架的表面不受尘埃和污垢的污染,采取适当的防尘和防污措施。使用密封袋、防尘套等包装材料,确保运输过程中不会受到外界灰尘和污垢的影响。

#### 10.1.7 包装说明和标签

提供明确的包装说明和标签,确保包装过程符合相关安全要求。标明包装容器的重量、尺寸、装载指南等信息,以便操作人员正确处理包装物。

### 10.2 运输要求

#### 10.2.1 运输方式

采取适当的运输方式,如货车、船舶、铁路或航空等。根据运输距离和运输方式选择合适的运输工具,并确保其满足运输支架的尺寸和重量要求。

#### 10.2.2 运输温度要求

运输过程中应保持环境温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。该范围是最基本的运输温度要求。

- a) 对于易受温度影响的部件,特别是电子元件,应确保运输环境温度严格限定在其规格书规定的工作温度范围或存储温度范围内。如果规格书范围超出 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,则应依据规格书要求进行温控。当运输环境温度预期将超出规格书限值时,应采取有效的保护措施,例如使用具有温度控制能力的恒温箱或保温箱运输,以确保部件处于安全温度范围内。
- b) 对于机械部件,应避免长时间暴露于可能导致材料性能劣化(如过度脆化或软化)的极端温度环境。

### 10.2.3 运输湿度要求

运输过程中保持适当的湿度。运输过程中应避免处于高湿度环境,以减少可能的腐蚀和损坏。

### 10.2.4 其他要求

需特别说明运输过程中需要着重保护的部件或元件,如易碎部件、敏感电子元件等。提供相应的保护措施,例如额外的缓冲材料、保护层等,以确保特殊部件和元件不会受到损坏。

## 10.3 运输检验

制定适当的运输检验计划,以确保运输过程中光伏跟踪支架的完好性。例如,在装载前和卸载后进行目视检测和功能检测,以验证产品的完整性和运输过程中是否存在损坏。

## 10.4 包装与运输安全

强调包装和运输过程中的安全要求,提供操作指南和安全措施,以确保工作人员的人身安全和财产安全。包括操作程序、应急预案和相关培训等内容。

# 11 安装

## 11.1 跟踪器安装

### 11.1.1 垂直支撑安装

有两种常见的垂直支撑安装类型,一是安装在杆上的跟踪器,二是安装在转动轴上的跟踪器。光伏跟踪器的可靠性应符合 GB/T 29320—2024 的规定,确保在设计寿命内适应不同工况。

### 11.1.2 基础结构支撑安装

跟踪器的安装位置可安装在基础结构上,而基础结构类型的选择将受到安装地点特征(如土壤条件、风力、水面稳定性等)及地方司法管辖区法规要求的影响。

地基施工应符合 GB 50007、GB 50202 的规定,并满足以下要求:

- a) 基坑开挖、支护及回填应按设计要求执行,保留验槽记录;
- b) 混凝土基础浇筑前需完成钢筋隐蔽验收,强度等级不应低于 C25,养护周期应符合 JGJ 55 标准;
- c) 预制桩或钢桩施工应执行 JGJ 94,桩身垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。

施工过程中需保留以下质量控制文件:

- a) 地基承载力检测报告;
- b) 混凝土试块抗压强度试验报告;
- c) 防腐层厚度检测记录(适用于钢基础);
- d) 监理签认的分项工程验收记录。

### 11.1.3 安装位置

安装位置是指当出现恶劣天气条件(如大风或大雪)时,避免跟踪器出现损坏的位置,确切的安装位置会根据跟踪器设计及地基稳定性验算结果确定。

### 11.1.4 安装时间

安装时间是指跟踪器完成安装、连接所需的时间。跟踪器安装完成后,应按GB/T 50796要求,检查支架垂直度、螺栓紧固度及防腐处理,并核查地基沉降观测数据。

## 11.2 跟踪器可靠性

### 11.2.1 概述

光伏跟踪器的可靠性是指在设计寿命内衡量系统在不同工作条件下正常运行的能力。

### 11.2.2 平均故障时间

平均故障时间被定义为跟踪器在没有故障而不需要维护的情况下运行的平均小时数,跟踪器的每个组件都应清楚地记录平均故障时间数据。

### 11.2.3 重大故障平均时间

重大故障平均时间为跟踪器在没有被定义为重大损坏的情况下运行的平均小时数,跟踪器的每个组件都应清楚地记录重大故障平均时间数据。

重大故障判定(满足任一项):

- a) 维修成本 $\geq$ 部件重置成本的30%;
- b) 导致安全功能失效(如抗风回溯失灵);
- c) 停机 $\geq$ 24 h。

### 11.2.4 平均维修时间

平均维修时间是指光伏组件或跟踪器被拆卸、固定、重新安装所需的平均时间,光伏组件和跟踪器的每个组件都应清楚地记录平均维修时间数据。

统计方法:

- a) 计时范围:从故障报警开始至系统恢复运行;
- b) 数据记录:需包含维修人员数量、工具类型、备件获取时间;
- c) 计算公式:

$$\text{平均跟踪时间} = \frac{\sum \text{单次平均时间}}{\text{维修总次数}};$$

- d) 上限要求:单个组件平均维修时间 $\leq$ 4 h(含备件调配)。
-



中国国际科技促进会  
团体标准  
智能跟踪光伏支架  
T/CI 1083—2025

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.5 字数 65 千字  
2025年12月第1版 2025年12月第1次印刷

\*

书号:155066·5-18238 定价 70.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



T/CI 1083-2025