

ICS 27.160
K83

CPIA

中国光伏行业协会标准

光伏系统-太阳跟踪器设计鉴定

Photovoltaic(PV) systems-Design qualification of solar
trackers

(IEC/TS 62548:2013, MOD)

(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)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国光伏行业协会 发布

目 次

目 次	I
前 言	V
1 范围与目的	1
2 引用标准	1
3 术语和定义	1
3.1 光伏器件	1
3.2 聚光光伏器件	1
3.3 聚光组件	1
3.4 聚光装置	2
4 光伏太阳跟踪器的规格表	2
5 报告	4
6 跟踪器定义与分类	5
6.1 总则	5
6.2 承载类型	5
6.2.1 标准光伏（PV）组件跟踪器	5
6.2.2 聚光光伏（CPV）组件跟踪器	5
6.3 旋转轴	5
6.3.1 总则	5
6.3.2 单轴跟踪器	5
6.3.3 双轴跟踪器	7
6.4 驱动与控制	8
6.4.1 结构	8
6.4.2 传动系统	8
6.4.3 驱动类型	8
6.4.4 传动系统力矩	9
6.5 跟踪器控制类型	9
6.5.1 被动控制	9
6.5.2 主动控制	9
6.5.3 反向跟踪	9
6.6 结构特性	10
6.6.1 垂直支撑	10
6.6.2 基础类型	10
6.6.3 跟踪器位置	10
6.6.4 避险时间	11
6.7 能耗	11
6.7.1 日能耗	11

6.7.2	避险能耗	11
6.8	外围部件及接口	11
6.8.1	基础	11
6.8.2	基础接口	11
6.8.3	负载	11
6.8.4	承载界面	11
6.8.5	负载的机械接口	11
6.8.6	负载的电气接口	11
6.8.7	接地接口	11
6.8.8	安装耗时	11
6.8.9	控制界面	12
6.9	内部公差	12
6.9.1	主轴公差	12
6.9.2	次轴公差	12
6.9.3	反冲	12
6.9.4	刚度	12
6.10	跟踪系统的部件	13
6.10.1	机械结构	13
6.10.2	跟踪器控制器	13
6.10.3	传感器	13
6.11	可靠性术语	13
6.11.1	总则	13
6.11.2	平均失效间隔时间	13
6.11.3	平均致命失效间隔时间	13
6.11.4	平均维修时间	13
6.12	环境条件	13
6.12.1	工作温度范围	13
6.12.2	极限温度范围	13
6.12.3	风速	14
6.12.4	运行最大风速	14
6.12.5	避险最大风速	14
6.12.6	雪载	14
7	跟踪器精度特性	14
7.1	总则	14
7.2	指向误差（瞬时）	14
7.3	测量	15
7.3.1	总则	15
7.3.2	指向误差的测试方法示例	15
7.3.3	指向误差测量工具的校准	16
7.4	跟踪器精度的计算	16
7.4.1	总则	16
7.4.2	数据采集	16

7.4.3	按风速分组数据	17
7.4.4	数据筛选	17
7.4.5	数据质量	17
7.4.6	精度计算	17
8	跟踪器测试程序	18
8.1	目测检查	18
8.1.1	目的	18
8.1.2	程序	18
8.1.3	要求	18
8.2	功能验证测试	18
8.2.1	目的	18
8.2.2	跟踪极限验证	19
8.2.3	硬限位开关	19
8.2.4	断电或反馈传感器被遮后的自动追日	19
8.2.5	手动操作	19
8.2.6	急停	19
8.2.7	维护模式	19
8.2.8	工作温度范围	19
8.2.9	避风	19
8.3	性能测试	20
8.3.1	目的	20
8.3.2	日能耗与峰值功耗	20
8.3.3	避险时间、避险能耗和避险功耗	20
8.4	机械性能测试	20
8.4.1	目的	20
8.4.2	控制/传动系统指向重复性测试	20
8.4.3	静载下的形变	21
8.4.4	扭转刚度, 机械移位, 传动力矩及反冲测试	23
8.4.5	极端风载下的力矩测试	25
8.5	环境测试	26
8.5.1	目的	26
8.5.2	程序	错误!未定义书签。
8.5.3	要求	28
8.6	加速机械循环	28
8.6.1	目的	28
8.6.2	步骤	28
8.6.3	要求	30
9	跟踪器电子部件的设计验收	30
9.1	目的	30
9.2	电子部件的测试程序	30
9.2.1	总则	30
9.2.2	电子部件的目测检查	31

9.2.3	功能测试	32
9.2.4	防尘防水防异物进入 (IP 等级)	33
9.2.5	对机械碰撞的防护 (IK 等级).....	33
9.2.6	端子强度测试	33
9.2.7	浪涌抗扰度测试	34
9.2.8	运输振动测试	34
9.2.9	冲击测试	34
9.2.10	UV 测试	35
9.2.11	热循环测试	35
9.2.12	湿冻测试	36
9.2.13	湿热测试	37
10	附加可选的精度计算	37
10.1	典型跟踪精度范围	37
10.2	跟踪误差直方图	37
10.3	指向误差对应的可用辐照百分比	38
图 1.	高度角的定义	7
图 2.	垂直主轴双轴跟踪轴 (VPDAT) 的主轴公差示意图	122
图 3.	指向误差通用示意图	154
图 4.	指向误差测量方法示例	155
图 5.	结构形变测量位置示例	222
图 6.	承载在水平方向时的载荷组合	222
图 7.	承载在垂直方向时的载荷组合	222
图 8.	纯力矩加载在高度角轴上	233
图 9.	角度位移对应于施加在旋转轴上的力矩	244
图 10.	力矩的作用长度	25
图 11.	两种极端风载结构	26
图 12.	跟踪器离散运动曲线示意图	29
图 13.	测试用加速离散运动曲线的示意图	29
图 14.	电子部件的测试序列	错误!未定义书签。1
图 15.	电子部件的热循环测试	错误!未定义书签。6
图 16.	电子部件的湿冻测试	错误!未定义书签。6
图 17.	整个测试期间指向误差的频率	错误!未定义书签。8
图 18.	指向误差对应的可用辐照度的函数	错误!未定义书签。8
图 19.	按风速分组的指向误差对应的可用辐照度的函数	错误!未定义书签。9

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则编写。

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。

本标准由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本标准规范修改采用 IEC 62817: 2014, 主要修改如下:

——删除了 IEC 62817: 2014 的前言;

——在规范性引用文件中, 用 GB 标准代替 IEC 标准;

——修改了术语“6.3.2.2.2 水平单轴跟踪器”和“6.3.2.3 朝向-基本方向”;

——修改了“8.6.3j)”, 增加内容“若采用传动系统指向误差代替跟踪精度测试, 则机械循环前后的指向重复性应在 10%以内。”。

本标准起草单位:

本标准主要起草人:

光伏系统 - 太阳跟踪器设计鉴定

1 范围与目的

本标准适用于光伏系统的太阳跟踪器，但也可用于其它太阳能应用领域。本标准规定了关键部件和整个跟踪器系统的测试程序。部分测试程序规定了对跟踪器规格表中的参数进行测量和/或计算的方法，其他测试程序则规定了测试通过或失败的准则。

本设计鉴定标准的两目的方面：

首先，本标准确保提供给用户的规格书中的参数是经统一且可接受的工业程序测量过的，为客户提供对比和选择跟踪器的可靠基础。本标准规定了工业上广泛认可的太阳跟踪器的定义和参数。制造商可按统一的定义来设计，制造并详细说明其功能和精度。本标准确保了在确定采购需求，比较不同制造商产品，验证产品质量过程中的一致性。

其次，规定“通过/失败”准则的测试程序是为了区分跟踪器的设计会导致早期失效还是可靠且满足制造商声称功能。本标准中的机械和环境测试用于测量跟踪器在变化的工作环境和极端条件下的性能。机械性能测试不验证结构及基础设计，因为此类验证与当地法规，土壤类型及其它地方规范有关。

2 引用标准

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.60 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 U：引出端及整体安装件强度

GB/T 2423.55 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Eh：锤击试验

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 17626.5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求

IEC 62262:2002 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级（IK 代码）

IEC 60068-2-27 环境试验 第 2-27 部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击

IEC 60904-3:2008, 光伏器件. 第 3 部分：具有标准光谱辐照度数据的地面用太阳光伏（PV）器件的测量原理

ISO 12103-1, 道路车辆 - 用于滤清器评定的试验粉尘 第 1 部分：亚利桑那试验粉尘

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件，附加的跟踪器专用术语，参考条款6。

3.1 光伏器件 photovoltaics, PV

利用太阳辐射光直接产生电能的器件。

3.2 聚光光伏器件 concentrator photovoltaics, CPV

利用聚光器件将太阳辐射光聚焦于光伏装置上产生电能的装置。太阳光可通过不同的方式会聚，如通过碟式，槽式，透镜，及其它形式的反射或折射光路。

3.3 聚光组件 concentrator module, CPV module

一组接收器（按特定方式安装的光伏电池片），光学器件及其它相关器件，如连接器和机壳等整合构成的整体模块。

注 1：聚光组件一般在工厂组装后运到安装工地和其它组件一起安装在太阳跟踪器上。

注 2：通常情况下，聚光组件现场不可调焦，可由多个子组件组成。子组件是整体组件小的模块化的组成部分，在工厂或者现场组装成完整的组件。

3.4 聚光装置 concentrator assembly

聚光装置由接收器，光学器件及现场可调焦的其它相关部件组成。一般在现场装配并对齐。

例：由单一大型碟型光学器件和应现场对齐焦点的接收器单元组成的系统。

注：此术语用于区分上文提到的确定的聚光组件（CPV）设计。

4 光伏太阳跟踪器的规格表

制造商应按下述要求向测试实验室提供规格表（见表1），且作为产品标识和文件的一部分。表1的第三列只是本标准的参考信息，提供给实验室的最终规格表中不包含此列。规格参数的说明见本标准后续条款。表1中的部分规格参数由制造商提供并由实验室验证，部分参数则完全由实验室负责，还有部分规格参数是可选的。若跟踪器制造商要求涵盖可选参数，则应按表1规定的方式报告并验证（报告的某些详细要求会在后续的相应条款作进一步说明）。规格参数的责任方和可选状态参考表1的第3列（T代表实验室负责，M代表制造商负责，O代表可选参数）。

表 1 – 跟踪器规格表

特性	示例	责任/条款
制造商	XYZ 公司	(M)
型号	XX1090	(M)
跟踪器类型	CPV 双轴跟踪器	(M) 6.2, 6.3
负载特性		
最小/最大 承载重量	100/1025 kg	(M) 6.8.3
负载重心限制	0m~0.3 m 至安装面垂直距离	(M) 6.8.3
最大负载表面积	30M ²	(M) 6.8.3
标称负载表面积	28M ²	(M)
移动时允许的最大驱动力矩	方位角 (Θ_z): 10 kN·m Θ_x, Θ_y : 5 kN·m [须提供一系列图表来说明力矩及对应的旋转轴]	(M) 8.4.5
静止时允许的最大保持力矩	[须提供一系列图表]	(M) 8.4.4, 8.4.5
安装特性		
适用基础	钢筋混凝土	(M) 6.6.2
主轴公差	$\pm 0.5^\circ$	(O) 6.9
次轴基础公差	$\pm 0.5^\circ$	(O) 6.9
安装工时	5 人时, 40 吨起重机	(O) 6.8.8
承载界面类型	接口配置适用于组件厂家 “A”, “B” 和 “C” 适用的螺栓配置 “X”, “Y” 和 “Z”	(O)
电气特性		
是否有备用电源	否	(M) N/A
日能耗	5kWh	(T) 6.7.1

避险能耗	1kWh	(T) 6.7.2
输入电源要求	交流, 100-240 V, 50-60 Hz, 5A	(M) 无特别规定
跟踪时有功(和视在)峰值功耗	500W (550VA)	(T) 8.3.2
未跟踪时有功(和视在)峰值功耗	50W (55VA)	(T) 8.3.2
避险时有功(和视在)峰值功耗	1000W (1100VA)	(T) 8.3.3
跟踪精度		
典型精度 (低风速, 最小形变点)	0.1°	(T) 7.4.6
典型精度 (低风速, 最大形变点)	0.3°	(T) 7.4.6
第 95%精度 (低风速, 最小形变点)	0.5°	(T) 7.4.6
第 95%精度 (低风速, 最大形变点)	0.8°	(T) 7.4.6
“低风速”测试条件的平均风速	3.1m/s	(T) 7.4.6
典型精度 (高风速, 最小形变点)	0.7°	(T) 7.4.6
典型精度 (高风速, 最大形变点)	1.0°	(T) 7.4.6
第 95%精度 (高风速, 最小形变点)	1.1°	(T) 7.4.6
第 95%精度 (低风速, 最大形变点)	1.6°	(T) 7.4.6
“高风速”测试条件的平均风速	5.2m/s	(T) 7.4.6
测试时安装的负载的重量与面积	500kg 载荷平均分布在 50m ² 的面积上	(T) 7.4.2.1
测试时安装的负载的重心	载荷的重心高出组件安装平面 0.2 m	(T) 7.4.2.1
控制特性		
控制算法	混合	(M) 6.5
控制界面	无	(M) 6.8.9
外部通信界面	Ethernet/TCP-IP	(M) 无特别说明
具备紧急避险功能?	是, 当风速在 14 m/s 时避险	(M) 6.6.3.1
避险耗时	4 分钟	(M) 6.6.4
时钟精度	1 秒/年	(M) N/A
硬限位开关	不提供	(M) 7.2.3
机械设计		
传动类型	分散式	(M) 6.4.1
驱动类型	电力	(M) 6.4.3

驱动器	18.5WDC 电机	(M) 无特别说明
主轴运动范围	±160° 方位角 (水平方向)	(M) 6.6.3.3
次轴运动范围	10-90° 高度角方向	(M) 6.6.3.3
系统刚度	测试位置, 施加的负载, 测得的形变 见测试实验室报告	(T) (O) 6.9.4, 8.4.3
传动系统抗扭刚度	参考“角位移-施加力矩”的图表	(T) 8.4.4, 图 9
反冲	最大 0.1°	(T) 6.9.3, 8.4.4
环境条件		
运行最大风速	14m/s	(M) 6.12.4
避险最大风速	40m/s	(M) 6.12.5
工作温度范围	-20℃至+50℃	(M) 6.12.1
极限温度范围	-40℃至+60℃	(M) 6.12.2
雪载	允许的最大雪载 20kg/m ²	(M) 6.12.6
维护和可靠性		
维护计划	每 12 个月加润滑油 (0.75 人时) 每 3 年更换压力油 (1.25 人时)	(O)
MTBF	3.5 年	(O) 6.11.2
MTTR	2h (方位或高度角电机) (列出 10 年内预期需要维修或替换的部件)	(O) 6.11.4

精度规格参数的说明见表 2。

5 报告

应由满足 IEC/ISO 17025 的测试实验室出具质量测试的验证报告, 报告应包含被测的性能特性、所有失败和重测的细节。报告应包含表 1 所列的规格参数。证书或测试报告应至少包括以下信息:

- a) 标题。
- b) 测试实验室名称、地址及实施测试的地址。
- c) 证书或报告的专有编号, 且每一页均应标记。
- d) 客户的名称及地址 (适用时)。
- e) 被测设备的描述及鉴定。
- f) 测试项目的特性及状态。
- g) 测试项目接受日期和测试日期 (适用时)。
- h) 所用测试方法的识别。
- i) 相关的取样程序 (如适用)。
- j) 所有对测试方法的偏离、补充或排除信息, 其它与特定测试相关的信息。
- k) 所有测量, 检验, 根据相关表格、图表、示意图和照片推导出的结果, 及观察到的失败。
- l) 测试结果的评估不确定度声明 (如适用)。
- m) 证书或报告负责人的签名, 职位及其身份信息, 证书及报告签发日期。
- n) 测试结果只对被测样品有效的声明 (如适用)。
- o) 证书或报告在没有征得实验室书面同意的情况下只能整体复制的声明。

p) 报告的复印件应由制造商保存以作参考。

6 跟踪器定义与分类

6.1 总则

太阳跟踪器是用于每天跟踪或跟随太阳的机械器件。虽然太阳能跟踪器有多种应用，但本标准的范围只涵盖应用于光伏领域的太阳能跟踪器。在光伏应用中，跟踪器的首要目的是增加可转化为电能的太阳辐射的接收。光伏跟踪器可分为两类：标准光伏跟踪器及聚光光伏跟踪器。每种类型跟踪器可按旋转轴数量和朝向，传动架构及驱动方式，应用目标，纵向支撑结构和基础等进一步分类。

6.2 承载类型 Payload types

6.2.1 标准光伏 (PV) 组件跟踪器 Standard photovoltaic (PV) module trackers

6.2.1.1 目的 Uses

标准光伏跟踪器用于最小化入射光与光伏组件之间的入射角。用于提高固定装机容量的发电量。

6.2.1.2 接收光线类型 Type of light accepted

光伏组件接收直射光和各个角度的散射光。这表明装有标准光伏跟踪器的系统在不正对太阳的情况下也可发电。标准光伏系统的跟踪目的是为了增加直射入射光的发电量。

6.2.1.3 精度要求 Accuracy requirements

在标准光伏系统中，直射光产生的能量随入射光与组件夹角的余弦值而下降，精度为 $\pm 5^\circ$ 的跟踪器可传递99.6%的直射光能量。因此，一般不选用高精度跟踪器。

6.2.2 聚光光伏 (CPV) 组件跟踪器 Concentrator photovoltaic (CPV) module trackers

6.2.2.1 目的 Uses

聚光光伏跟踪器用于确保CPV系统的光路。此类跟踪器将CPV光学器件与太阳直射光线对齐，比标准光伏跟踪器的跟踪精度高。

6.2.2.2 接收光线类型 Type of light accepted

相对于散射光，直射光是CPV组件的首要能量源。光路设计成专用于将直射光会聚到光伏电池片上。若对焦不准，则输出功率会显著下降。

若CPV组件聚光是一维的，则应采用单轴跟踪器，若CPV组件聚光是二维的，则应采用双轴跟踪器。

6.2.2.3 精度要求 Accuracy requirements

在聚光组件中，跟踪精度需求一般与组件接收光线角度相关。一般情况下，太阳指向误差小于接收角度，组件能够输出90%或以上额定输出功率。

6.3 旋转轴 Rotational axes

6.3.1 总则 General

光伏跟踪器可按旋转轴数量和主轴朝向进行分类。

6.3.2 单轴跟踪器 Single-axis trackers

6.3.2.1 总则 General

单轴跟踪器只有一个自由度可旋转。

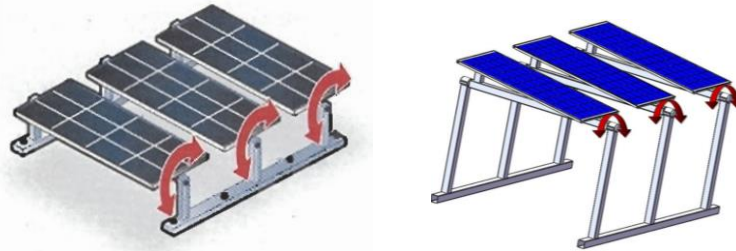
6.3.2.2 单轴跟踪器的实现方式 Single-axis tracker implementations

6.3.2.2.1 总则 General

单轴跟踪器有多种常见实现方式，包括水平单轴跟踪器、垂直单轴跟踪器、斜单轴跟踪器。

6.3.2.2.2 水平单轴跟踪器 Horizontal single-axis tracker, HSAT

水平单轴跟踪器的旋转轴相对地面是水平的。分为常规水平单轴跟踪器和特殊水平单轴跟踪器，两者的区别见条款6.3.2.4。



6.3.2.2.3 垂直单轴跟踪器 Vertical single-axis tracker, VSAT

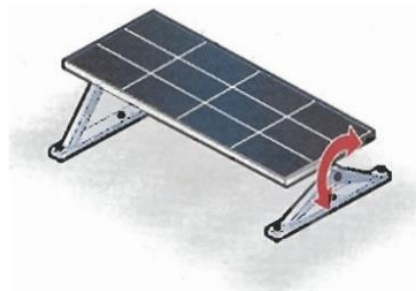
垂直单轴跟踪器的旋转轴相对地面是垂直的，组件表面相对于旋转轴呈一定角度。在一天中跟踪器从东转到西。



6.3.2.2.4 斜单轴跟踪器 Inclined single-axis tracker, ISAT

斜单轴跟踪器的旋转轴的朝向介于水平和垂直之间。跟踪器倾斜角通常受限于减小风剖面 and 降低离地高度的需要。

极轴跟踪器（PISAT）是一种特殊的斜单轴跟踪器。在这种特殊应用情况下，倾角等于安装地的纬度，跟踪器的旋转轴与地轴平行。



6.3.2.3 朝向 - 基本方向 Orientation - cardinal direction

单轴跟踪器的旋转轴通常与真北经线平行。可通过先进的跟踪算法将其与任何基本方向对齐。

6.3.2.4 组件相对于旋转轴的朝向 Module orientation with respect to rotational axis

组件相对于旋转轴的朝向在性能模拟计算时很重要。

常规水平和斜单轴跟踪器的组件表面平行于旋转轴，跟踪太阳时，组件绕旋转轴对称地扫过一个圆柱形。

特殊的水平单轴跟踪器和垂直单轴跟踪器组件表面相对于旋转轴呈一定角度，跟踪太阳时，组件绕旋转轴对称地扫过一个圆锥形。

6.3.3 双轴跟踪器 Dual-axis trackers

6.3.3.1 总则 General

双轴跟踪器有两个用于旋转的自由度。一般情况下，两个旋转轴相互垂直。一般认为相对于地面固定的旋转轴是主轴，相对于主轴的另一个旋转轴是次轴。

6.3.3.2 双轴跟踪器的实现方式 Dual-axis tracker implementations

6.3.3.2.1 总则 General

双轴跟踪器有多种常见的实现方式，按主轴相对于地面的朝向来分类。一种常用实现方式是垂直主轴双轴跟踪器（VPDAT）（又称为方位角-高度角跟踪器）。

方位角是“北偏东度数”（如：方位角 0° 指向北；方位角 90° 指向东）

高度角是“水平面向上的度数”，见图1，天顶角是高度角的补角（天顶角= $90^\circ -$ 高度角）

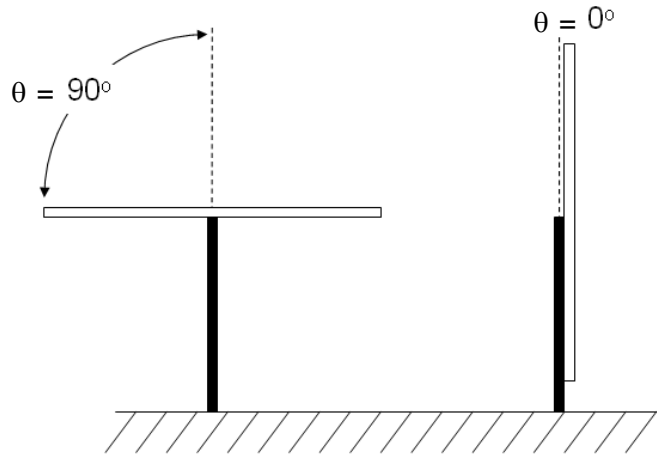


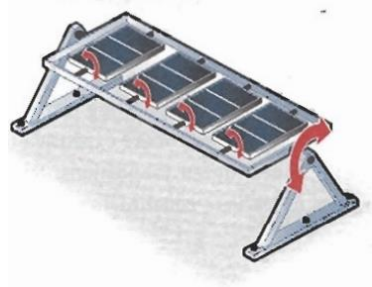
图 1. 高度角的定义

注：高度角(θ)= 90° （天顶角= 0° ），此时组件面向天空。高度角= 0° （天顶角 = 90° ）此时组件平面的法线平行于地平线。

上述只是描述角度的惯例，在描述清楚的情况下也可使用其他惯例。如：可将跟踪器的运动范围描述为“方位角为 $+20^\circ \sim +340^\circ$ ”或“方位角为偏离正南 $\pm 160^\circ$ ”。

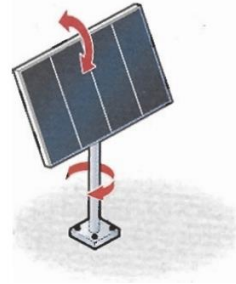
6.3.3.2.2 水平主轴双轴跟踪器 Horizontal primary dual-axis tracker

水平主轴双轴跟踪器（HPDAT）的主轴平行于地面，次轴通常垂直于主轴。



6.3.3.2.3 垂直主轴双轴跟踪器 Vertical primary dual-axis tracker

垂直主轴双轴跟踪器的主轴垂直于地面，次轴通常垂直于主轴。



6.3.3.2.4 倾斜主轴双轴跟踪器 Inclined primary dual-axis tracker

倾斜主轴双轴跟踪器的主轴介于垂直和水平之间，次轴通常垂直于主轴。

6.3.3.3 朝向-基本方向 Orientation - cardinal direction

水平主轴双轴跟踪器的旋转轴通常与经线真北或纬线东西方向对齐。可通过先进的跟踪算法将其与任何基本方向对齐。

6.3.3.4 组件相对于旋转轴的朝向

Module orientation with respect to rotational axes

组件相对于旋转轴的朝向在性能模拟计算时很重要。一般情况下，双轴跟踪器使组件平行于次轴。

6.4 驱动与控制 Actuation and control

6.4.1 结构 Architecture

两种常用的驱动与控制结构：分散式驱动和联动式驱动。实现方式有多种。

6.4.1.1 分散式驱动 Distributed actuation

在分散式驱动结构中，每个跟踪器和每个旋转轴均为独立驱动与控制。

6.4.1.2 联动式驱动 Ganged actuation

在联动式驱动结构中，一个驱动系统同时驱动多个旋转轴. 可以是一个跟踪器驱动多个旋转轴或一个方阵内安装多个跟踪器。

6.4.2 传动系统 Drive train

传动系统包括跟踪系统中将机械运动传送至承载界面的所有部件，包括所有旋转轴。一般包括齿轮、电机、执行机构、液压缸/气缸、传动机构和连杆等。传动系统不包含电气控制和承载界面。

6.4.3 驱动类型 Drive types

6.4.3.1 总则 General

光伏跟踪器一般有三种驱动类型。

6.4.3.2 电驱动 Electric drive

电驱动系统向交流电机，直流有刷电机或直流无刷电机供电以驱使其转动。电机通常配置齿轮箱减速以提高力矩。齿轮箱的最后一级传递直线运动或旋转运动以推动跟踪器的旋转轴并增加旋转轴的刚性。

6.4.3.3 液压驱动 Hydraulic drive

液压驱动系统采用液压泵来产生液压。液压经由阀（如：比例阀或通断阀）管道至液压马达或液压缸。液压马达及液压缸可根据需要调整机械运动并向跟踪器传递所需的直线或旋转运动。

6.4.3.4 被动驱动 Passive drive

被动驱动系统采用液压压差来驱动跟踪器旋转轴。压差由不同阴影造成的不同热梯度来获得。跟踪器运动以使压差达到平衡。

6.4.4 传动系统力矩 Drive train torque

6.4.4.1 工作力矩 Operational torque

工作力矩是传动系统在运动时（如跟踪太阳，移动到避险或其它位置），风或其它外力施加给跟踪器的最大力矩。不同轴的工作力矩可不同。

6.4.4.2 保持力矩 Holding torque

保持力矩是传动系统处于某一固定位置时可施加给跟踪器的最大力矩。在此力矩下跟踪应既不移动也不回冲。不同轴的保持力矩可不同。若旋转轴设计成在某一特定位置可自由运动，则保持力矩不适用。

6.4.4.3 破坏力矩 Destructive torque

破坏力矩是指当超过此力矩限值时会引起跟踪器部件的永久形变或者破损。不同轴的破坏力矩可不同。

6.5 跟踪器控制类型 Types of tracker control

6.5.1 被动控制 Passive control

被动式太阳跟踪通常依靠环境力量来产生流体密度变化，以此提供内力来驱动负载。

6.5.2 主动控制 Active control

6.5.2.1 总则 General

主动式太阳跟踪通过外部供能驱动电路及驱动器（电机，液压等）来定位负载。

6.5.2.2 开环控制 Open-loop control

开环控制不直接采用太阳位置传感器或组件输出功率作为反馈的主动跟踪方式，而是通过数学计算太阳位置（基于位置、日期、时间等）来确定跟踪器是否追踪相应的驱动执行元件。

应注意本标准的开环控制不是指执行器本身不提供反馈；执行器可以是带有编码器的伺服电机或本身由闭环控制器控制。

本标准中的开环控制是指控制算法中没有实际跟踪误差的直接反馈。

6.5.2.3 闭环控制 Closed-loop control

闭环控制是根据某种反馈（如：光学太阳位置传感器或组件输出功率）来决定如何驱动驱动器和定位负载的主动跟踪方式。

6.5.2.4 混合控制 Hybrid control

混合控制综合了太阳位置算法（开环的历法编码）和闭环控制采用的传感器数据的主动跟踪方式。混合控制有多种不同的方式。

6.5.3 反向跟踪 Backtracking

反向跟踪指有意使跟踪器一定程度上不正对太阳，一般是为了在早晨或傍晚当太阳离地平线不高时减少邻近跟踪器产生的阴影。

一种方式是略微增大同一地点的所有的跟踪器的高度角以避免遮挡。另一种方式是每隔一排不跟踪且保持在90°高度角位置（组件面向天空），以确保其他排对太阳的视线清晰无阴影遮挡。反向跟踪是当土地面积不足以确保足够间距时避免早晨和傍晚阴影的有效办法。反向跟踪不适用于CPV。

6.6 结构特性 Structural characteristics

6.6.1 垂直支撑 Vertical supports

6.6.1.1 总则 General

垂直支撑将载荷传递到基础。通常有两种垂直支撑。

6.6.1.2 立柱安装跟踪器 Pole-mounted trackers

立柱安装跟踪器通过一根或多根立柱将载荷传递至基础。这些立柱连接或浇入到一个或多个基础中。

所有类型跟踪器（单轴和双轴）均可安装在立柱上。

6.6.1.3 转盘安装式跟踪器 Carousel-mounted trackers

转盘安装式跟踪器经由一个圆环将载荷传递至基础。此圆环通过多点固定在基础上。

转盘安装式跟踪器一般的主轴一般是垂直的。

6.6.2 基础类型 Foundation types

6.6.2.1 总则 General

跟踪器上的载荷须由基础支撑。

跟踪器可安装在屋顶，地面/土地和水中，承受项目地的特定载荷。因此，跟踪器采用多种基础类型。基础类型由项目地特性和当地规范决定。

基础类型一般按是否穿透安装表面来分类。

6.6.2.2 穿透式基础 Penetrating foundations

6.6.2.2.1 桩式基础 Pile foundations

桩式基础有多种类型，包括但不限于混凝土桩、锤击桩、钻桩。

桩式基础广泛应用于地面和水上安装。孔径、深度、混凝土混合、钢筋的要求、螺纹类型和其它特性由项目地条件决定。

6.6.2.3 非穿透基础 Non-penetrating foundations

6.6.2.3.1 配重基础 Ballasted foundations

配重基础（又称浅基础）有多种类型。

配重基础在屋顶及地面安装均有应用。与表面接触部分的要求、重量、材料、钢筋的要求和其它特性须由项目地条件决定。

6.6.3 跟踪器位置 Tracker positions

6.6.3.1 避险位置 Stow Position

避险位置是跟踪器在出现或预测到不利天气条件（如大风或大雪）的情况下为避免载荷破坏跟踪器或负载而移向的位置。不是所有跟踪器都有避险位置，具体避险位置可随跟踪器的设计而变化。同一跟踪器可有多个避险位置。

6.6.3.2 维护位置 Maintenance Position

维护位置是跟踪器在维护时移至的位置，如清洗、安装组件和维修。可与避险位置相同或不同，也可有多个维护位置。不是所有的跟踪器都有维护位置。位于此位置时，应有安全互锁机构以避免在无操作员指令时跟踪器突然动作。安全互锁可有多种方式，但都应有操作接口来解锁。

6.6.3.3 运动范围 Range of motion

运动范围是指跟踪器在每个方向，每个轴上的最大移动量。

例如：主轴的运动范围是偏离真南 $\pm 135^\circ$ （或按条款6.3.3.2.1定义，方位角 $+45^\circ \sim +315^\circ$ （北偏东）。高度角式次轴运动范围 $0 \sim 90^\circ$ 。

按测试表1的要求测试运动范围并记录。

注意运动范围不仅由机械限位决定：电子限位开关和软件设置也可进一步限制运动范围以确保安全或减少阴影。

带有控制器的跟踪器，运动范围指的是软件和硬件共同作用所能控制的最大运动范围。

6.6.4 避险时间 Stow time

避险时间是指装有额定载荷的跟踪器从最远位置移至避险位置所需的时间。若有多个避险位置，则避险时间是指从太阳追踪范围移至最远避险位置所需的时间。应记录避险位置。

6.7 能耗 Energy consumption

6.7.1 日能耗 Daily energy consumption

跟踪器的日能耗是指额定载荷条件下完成24小时跟踪（以典型跟踪速度从开始到停止，且以跟踪器标准速度范围内的任意速度重新启动）所消耗的能量，单位kWh。日能耗会随风载，云遮盖和其它天气条件而变化。日能耗也会因在一年中的时间不同而变化。

6.7.2 避险能耗 Stow energy consumption

避险能耗是指跟踪器从最远位置移至避险位置所消耗的能量，单位kWh。

6.8 外围部件及接口 External elements and interfaces

6.8.1 基础 Foundation

基础是指一般固定于地面的支撑结构。等效于机械中的“地面”符号。

6.8.2 基础接口 Foundation interface

基础接口将跟踪器连接到地面或屋顶。跟踪器的设计应保证跟踪器与基础之间存在最大对齐误差时仍可正常工作。

6.8.3 负载 Payload

负载是指跟踪器上带动的物体，通常是光伏或聚光光伏方阵以及相连的安装构件（但不包括跟踪器本身）。跟踪器应规定最小和最大承载重量、重量分布和重心的限制条件。负载表面积等于安装在跟踪器上的光伏组件长度、宽度和数量三者的乘积。应注意该表面积不是指具有穹顶形或曲面透镜的组件构成的方阵的实际表面积。

精度测试（详见条款7.4.6）应在带载条件下进行，载荷可以是实际组件构成的方阵，或质量、质量分布和风速相同的模拟方阵。

6.8.4 承载界面 Payload interface

承载界面是指跟踪器与负载（组件）结合的区域。它定义为负载与跟踪器之间的连接方法和载荷传递方式。

6.8.5 负载的机械接口 Payload mechanical interface

承载的机械接口是指用于管理线缆进出的措施应被当作机械界面，而非电气接口。

6.8.6 负载的电气接口 Payload electrical interface

负载的电气接口包括负载与跟踪器之间的所有电气连接。通常，电信号不通过跟踪器（纯机械方式除外）。某些跟踪器控制方案采用负载的电性能作为反馈，如：组件的输出电流或输出功率。

6.8.7 接地接口 Grounding interface

接地接口包括用于故障保护和静电放电保护的跟踪器接地连接。

6.8.8 安装耗时 Installation effort

6.8.8.1 总则 General

安装耗时是指安装跟踪器所需的工时。也包括安装专用安装设备的工时。

6.8.8.2 安装纬度范围 Range of latitude installation

安装纬度范围规定了跟踪器设计适用的从0到90°之间的纬度范围。

若跟踪器控制软件设计为只用于一个半球（北半球或南半球），也应予以说明。

6.8.9 控制界面 Control interface

6.8.9.1 操作界面 Human/manual interface

操作界面是指操作人员在跟踪器旁操作以控制某些功能。包括电机的控制开关或按钮，急停按钮，跟踪器可设计成提供不同层次的操作界面。

6.8.9.2 远程界面 Remote interface

跟踪器的远程界面可包括有线或无线通讯，多种通讯协议和用户接口，如：远程网络接口。

6.9 内部公差 Internal tolerances

6.9.1 主轴公差 Primary-axis tolerance

主轴公差指的是规定主轴矢量（如垂直，水平，项目地的纬度倾角）与最后实际安装的主轴矢量之间的可接受的安装总误差。可用毫弧度或度表示。（见图2）

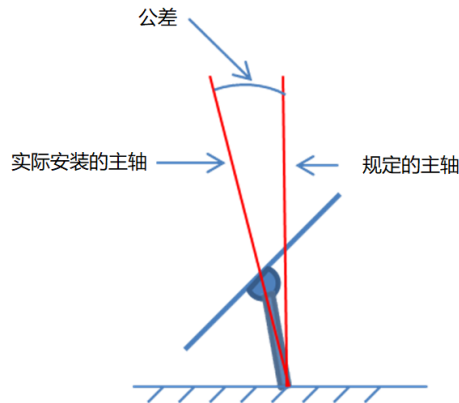


图 2. 垂直主轴双轴跟踪器的主轴公差示意图

此公差也可代表主轴的安装精度。如，跟踪器制造商可规定主轴应在标称位置1°范围内安装以确保跟踪器正常工作。

6.9.2 次轴公差 Secondary axis tolerance

次轴公差是指理想的次轴矢量与实际安装的次轴矢量之间的可接受总误差，用毫弧度或度表示。

6.9.3 反冲 Backlash

反冲是指跟踪器传动系统的自由运动。跟踪器应给出每个运动轴的反冲，并给出自由运动的总包络线，用度表示。反冲是由于传动齿的配合间隙，销或其他机械连接点的移动，液压传动的弹性或其他系统特有的机械装置产生的，且在高风速表现得更明显。

6.9.4 刚度 Stiffness

刚度与部件在载荷下的形变成反比。跟踪器的刚度可由如下方式确定：将跟踪器固定在地面或可认为刚度无限强的可完全当作土地的单元上（如混凝土地板上的大块金属板），将杠杆臂固定于每个被测的轴上，施加外力使其运动。刚度受齿轮传动系统，基座，装载的组件和边框的影响。大多数跟踪器设计成可兼容多种组件，所以，刚度测试时不安装组件是有意义的。建议每个轴单独测试以确定系统的刚度。

6.10 跟踪系统的部件 Tracker system elements

6.10.1 机械结构 Mechanical structure

机械结构用于支撑光伏组件或光伏装备。它提供基础以上的承受外部环境所必须的强度和刚度。

6.10.2 跟踪器控制器 Tracker controller

跟踪器控制器包括所有控制元件，如微处理器，电机驱动器，电源/变压器及通讯连接等。一般不包括位置传感器，如编码器或限位开关。

6.10.3 传感器 Sensors

传感器包括闭环控制（太阳位置传感器、组件的输出功率），传动系统精确定位（编码器、倾角仪等），以及为系统控制或监测提供额外的天气数据（温度、风速及风向等）所使用的传感器。

6.11 可靠性术语 Reliability terminology

6.11.1 总则 General

失效:日常使用时不能满足跟踪要求的所有状态。

致命失效:导致安全问题，跟踪系统/基础重要损坏的所有状态。

维修延迟时间:等待部件或服务人员而导致的跟踪器不能工作的时间。

设施延迟时间:跟踪器因为缺水，电或其它设施而不能正常工作的时间。

总不可用时间:维修延迟时间 + 设施延迟时间 + 维修时间

跟踪器可用时间:跟踪器可正常工作的时间。

修理时间:每次服务人员在场时修理部件所用的时间。

跟踪器可用率= 跟踪器可用时间 / (总时间 - (维修延迟时间+ 设施延迟时间)) *100%。

6.11.2 平均失效间隔时间 Mean time between failures, MTBF

MTBF是指跟踪器可正常工作，未因失效而维修的平均小时数。可由年度数据经统计分析得出。跟踪器的每个部件都应明确给出MTBF数据。然而，应通过平均方法将这些数据整合成一个统校准值，以表明跟踪器是由多个部件组成的系统。跟踪器的文件中应给出MTBF的平均计算方法。

预估MTBF = 跟踪器可用时间 / 跟踪器工作期间的失效次数。

6.11.3 平均致命失效间隔时间 Mean time between critical failures, MTBCF

MTBCF是指跟踪器没有影响安全或导致跟踪系统/基础重要损坏而失效的平均小时数。可由年度数据经统计分析得出。跟踪器的每个部件都应明确给出MTBCF数据。然而，应通过平均方法将这些数据整合成一个统校准值，以表明跟踪器是由多个部件组成的系统。跟踪器的文件中应给出MTBCF的平均计算方法。

预估 MTBCF = 跟踪器可用时间 / 跟踪器工作期间的致命失效次数。

6.11.4 平均维修时间 Mean time to repair, MTTR

MTTR跟踪器中的一部分被拆除，固定和重新安装，或拆除并安装新部件所需要的时间。它可由年度数据经统计分析得出。跟踪器的每个部件都应明确给出MTTR数据。

预估 MTTR = 因失效而维修的总时间/跟踪器相关失效的数量。

6.12 环境条件 Environmental conditions

6.12.1 工作温度范围 Operating temperature range

跟踪器可工作且仍能满足其他产品规格参数（如，精度）的温度范围。

6.12.2 极限温度范围 Survival temperature range

跟踪器可被安装且不会引起损坏的温度范围，虽然该温度范围可能引起跟踪器无法持续达到其无法产品规格参数，如：精度变差或速度变慢等。

6.12.3 风速 Wind speed

制造商规格书中给出的风速是指10米高度且空气密度为 $1.225\text{kg}/\text{m}^3$ 的风速。

考虑到风速测量与本标准规定的测试相关，应选择以下两种风速测量方法。无论选用哪种方法，风速数据应根据10米高度10分钟平均风速，1分钟间隔记录一次。应按公式（1）将跟踪器高度测得的风速转换到10米高度风速。 V_{test} 是高度 h 的风速，单位 m/s ； V_{10} 是10米高度风速。当高度 h 小于等于4.6米时， h 取恒定值4.6。

$$V_{\text{test}} = V_{10}(h/10)^{0.15} \quad h > 4.6 \quad (1)$$

测量方法1：风速应在10米高度测量，且风速测量设备周围半径200米范围内无高度超过3.3米的障碍物。跟踪器应位于风速测量设备400米范围内，且跟踪器与风速测量设备间没有可能产生不同风况的障碍物。对于高度接近或超过10米的跟踪器，计算书/文档应注明跟踪器位于对风速测量设备的湍流影响小于10%的位置。可通过假设在距离跟踪器高度25倍距离的地方风速可达到至少原来的90%来计算。为确保10米高度风速测量在跟踪器的位置是有效的，跟踪器周围不应有能使风速降低10%的障碍物。换句话说，跟踪器与障碍物之间的距离应大于25倍障碍物的高度。高度小于跟踪器承载物（通常是高度角旋转轴）高度的 $1/3$ ，以及水平方向宽度小于16cm（风速传感器杆）不在此列。

测量方法2：在跟踪器承载物平均高度1.5m之内的高度来测量风速与风向。风速传感器应位于跟踪器的主要风向侧，且到跟踪器中心的水平距离大于 $R/\tan 15^\circ$ （其中 R 是方位角跟踪平面的半径或与之相等）。跟踪器与风速传感器之间及周围均应无使跟踪器和风速传感器之间的风速差异超过10%的障碍物。风向与主要风向相差大于 $180^\circ \pm 20^\circ$ 的数据不应用于跟踪器精度计算（如，位于跟踪器湍流尾部的传感器测得的风向）。风速数据应被修正到10m高度。

6.12.4 运行最大风速 Maximum wind during operation

跟踪器连续追踪太阳或转至其他要求方向时所能承受的10米高度风速。推荐标明此额定风速适用的环境条件。（不同国家的标准环境条件不同，如：在欧州标明的是“地形坡度A”和“地貌条件B”，在美国则可能是“地表粗糙度B”和“暴露类别B”）

6.12.5 避险最大风速 Maximum wind during stow

跟踪器在避险位置时能承受的最大10米高度风速

6.12.6 雪载 Snow load

跟踪器应标明最大雪载，单位 kg/m^2 。雪载应计入到最大额定负载中（见条款6.8.3）。本标准不定义风雪复合载荷。

7 跟踪器精度特性

7.1 总则

本条款区分了瞬时指向误差和报告跟踪精度，规定了指向误差的测量方法，采用统计法报告跟踪精度的数据处理要求。单轴跟踪器的跟踪精度特性测试是可选项。若单轴跟踪器提供了跟踪精度特性，应允许制造商向测试实验室提交适用于单轴的修改了的测试计划，并将其记录在报告中。

7.2 指向误差（瞬时）

太阳跟踪器的指向误差是光伏组件的指向矢量（一般是光伏组件的法向矢量）和太阳的指向矢量之间的夹角（见图 3）。指向误差不是子系统的精度（如齿轮箱、算法或控制器），而是所有子系统的误差总和，即它是跟踪器指向与实时太阳位置的实际角度差。

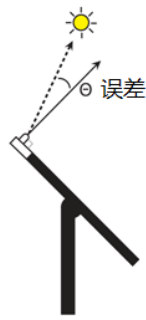


图 3. 指向误差示意图

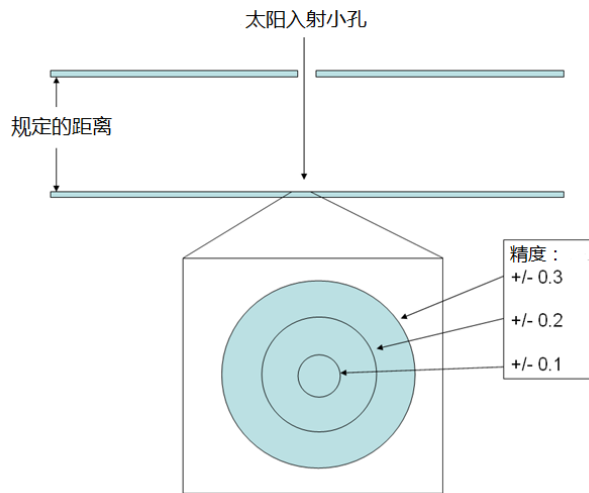
7.3 测量

7.3.1 总则

应直接测量指向误差（不应由跟踪器模型的理论计算或跟踪控制器的报告值得到）。指向误差的测量需在跟踪器上安装与组件共平面的传感器测量以太阳相对位置。指向误差的测量涵盖整个跟踪系统，包括机械部件及电子控制系统。若设计迭代中改变的零部件可能会影响跟踪精度，则应重测指向误差并重新报告跟踪精度。

7.3.2 指向误差的测试方法示例

实验跟踪精度是在指定的时间段内确定跟踪器实际指向误差的方法。实验跟踪精度可通过使用相隔指定距离的两块平板测量，其中一块平板上有一个小孔用以将太阳位置投射到评价图表上（见图4）。



注：相隔指定距离的两块平板，一块上有小孔将被跟踪的太阳光投射在指定直径的环上，这些环可测量 0.1° 、 0.2° 、 0.3° 的精度（如有需要，可以更多）。

图 4. 跟踪精度测试方法示例

针孔系统仅是将跟踪误差投射至探测器上的一种示例方法。也可采用光学或其它方法。投射的太阳影像可通过光敏纸、光电二极管矩阵、图像传感器或其他合适的传感器进行记录和分析。一般情况下，指向误差测量设备输出两个轴的误差（ \pm 方位角误差、 \pm 高度角误差），实际指向误差是正值，是两轴上误差的合成矢量。

另一种方法是测量太阳直射光在分光探测器上产生的电流。若指向误差为0时，则每个探测器接收的辐射相同且产生的电流相等。若指向误差不为0，则其中一个探测器会产生较大的电流。校准因子和简单计算把测得的电流转化为指向误差。

7.3.3 指向误差测量工具的校准

测量指向误差的工具（光电二极管、照相机或其它传感器）各自的校准精度应至少为被测跟踪器精度的3倍。如，若报告中跟踪器的指向误差是 0.06° ，则应确保测量设备的精度为 0.02° 或更高。仪器的精度要求仅适用于被测跟踪器需要的视场，如：一个跟踪精度检测器的视场为 $\pm 3^\circ$ ，此监测器在视场 $\pm 1^\circ$ 范围内的精度为 $\pm 0.02^\circ$ ，但在全视场 $\pm 3^\circ$ 范围内的精度是 $\pm 0.06^\circ$ 。若测量只需 $\pm 1^\circ$ 的视场，则精度 $\pm 0.02^\circ$ 满足要求。

可在太阳光或人造光下进行校准，辐照度至少 100 W/m^2 ，准直度为 1° 或更小。

校准过程中应至少验证10个不同的太阳位置（从传感器的视场中心到边缘）。

7.4 跟踪器精度的计算

7.4.1 总则

- 用上述的指向误差传感器和测量方法测量至少5天的数据。
- 以 4 m/s 为界线将数据分为高风速与低风速两组。
- 筛选数据（如剔除低辐照时的数据，见7.4.4）。
- 统计计算每组数据并报告跟踪精度。

7.4.2 数据采集

7.4.2.1 跟踪器安装

跟踪器应按照制造商的推荐进行安装。

精度测量时应加载最大额定负载，且单位面积重量及重心位置和实际应用吻合度在 $\pm 20\%$ 以内。

承载重量、重心、单元数量、单元间的空气间隙需应记录在测试结果中，测试设置的照片也应包括在报告中。

7.4.2.2 传感器的安装

应将一个指向误差传感器安装在预估的跟踪平面上的最大形变位置（通常在跟踪平面的边缘或拐角位置）。

应将第二个指向误差传感器安装在跟踪平面的中心或最小形变位置上。

传感器的调整应按以下流程进行：传感器安装完成后，跟踪器跟踪太阳，监测器输出方位角和高度角。在真太阳时正午1小时内，微调传感器以使输出的方位角和高度角相对于0位不大于 0.05° ，且传感器之间的输出相差不大于 0.05° （如，一个传感器输出的方位角是 0.03° 而另一个是 0.02° ）。通常根据光点或阴影粗调传感器，但应通过监测方位角和高度角的电气输出进行微调。高精度调整通常要求将每个传感器通过一个三点弹簧加压的调整机构固定在跟踪器上（若方位角和高度角由不同的设备测量则采用两点法）。如果机械调整不能达到相对0位的 0.05° 的校准度，则可通过数据采集系统或通过补偿修正对整套数据进行补偿矫正。补偿应在测试开始时确定，两个传感器之间进一步的偏差应视为实际指向误差。应采用调整完成后的前15分钟的晴天数据来确定补偿，以补偿测试期间所有传感器的剩余数据。应在同一图表中记录两个传感器的前15分钟数据。应在测试报告中记录此表和补偿。应在接近真太阳时正午时进行调整，因为每个监测器的指向矢量在跟踪器运行的一天或一周中会发生不同的变化。通过在真太阳时正午时调整传感器，跟踪精度数据统计对应的是一天中直接辐射（DNI）最高的时段。

7.4.2.3 记录的参数

记录的参数应包括：

- 跟踪器指向误差 $=\sqrt{Azimuth_{error}^2 + Elevation_{error}^2}$ 。
- 对于单轴跟踪器，应剔除不相关的方位角或高度角。
- 直射辐照度(DNI)。
- 水平总辐照度(GHI)。
- 风速。
- 日期和时间。

跟踪器指向误差应1分钟间隔记录瞬时值按1分钟瞬时增量记录。

辐照度测量应按1分钟间隔记录平均值。

风速数据应按1分钟间隔记录10米高度的10分钟平均值；风速测量以及跟踪器应安装在坡度小于3%的位置。

应至少记录5天，且每天的直射辐照量不低于2400 Wh/m²（如，至少6小时的DNI大于等于400 W/m²）。

应记录测试的时间和地点以评估在运动范围内采集的数据是否充分。

7.4.3 按风速分组数据

若风速小于或等于4 m/s，则将数据列入低风速组；若风速大于4 m/s，则将数据列入高风速组。

记录两组数据的目的是使测量时间、复杂性和成本最小化。制造商可增加其他风速下的报告跟踪精度统计，也可包含与风向的关系。

7.4.4 数据筛选

7.4.4.1 总则

数据筛选应记录在跟踪器精度测试报告中。

7.4.4.2 筛选跟踪范围之外的数据

若跟踪器制造商给出了最大运动范围，则剔除所有太阳位置超出指定范围时的数据。

7.4.4.3 筛选低于最小辐照度时的数据（可选）

- 剔除所有直射辐照度小于 250 W/m²时记录的数据。
- 剔除所有在 DNI 和 GHI 比值小于 0.25 时记录的数据。
- 当指明跟踪器是用于非聚光光伏或低倍聚光光伏时，也可选择不进行辐照数据筛选。

7.4.4.4 其它数据筛选

若对其他数据进行筛选，应在报告中特别注明，如：

- “因为叶子遮盖太阳传感器而剔除了 3 个小时的数据”。
- “因为数据记录系统失效而未记录某个测量日的 2 个小时的数据”。
- “因为跟踪器停机而丢弃某个测量日的 30 分钟的数据”。

7.4.5 数据质量

应确保四组数据（“低风速、最小形变测量”、“高风速、最大形变测量”等）均有足够数量的数据点。

每个指向误差传感器测量的数据应满足：

- 按上述要求筛选后至少有 360 个数据点。
- 至少有五天数据，且每天的数据点超过 50 个。
- 高风速下的数据点数（180）。
- 正午前和午后的数据点均不低于 50 个。

7.4.6 精度计算

每组数据计算以下两个数值：

典型精度：剔除不合理数据后指向误差的中间值。所有记录的指向误差值应为正值，因此，“典型精度”大于零但小于第95%精度。

第95%精度：剔除不合理数据后指向误差的第95%值，即95%的测量数据点小于此值。

应注意，第95%精度并不表示跟踪精度统计数据符合正态分布。图17是整个测试期间指向误差的概率的直方图，此情况明显不是正态分布。本组数据的典型精度是大约0.65°，第95%精度大约是0.97°。

计算精度值、低风速组和高风速组的平均风速也可按表2所示记录。

表 2 – 另一种跟踪精度报告模板

	低风速*		高风速**	
	典型精度	第 95%精度	典型精度	第 95%精度
最小形变点	0.4	0.8	0.5	1.0
最大形变点	0.7	1.2	0.8	1.4
* 低风速=风速<4m/s (测量平均值=2.6m/s)。				
** 高风速=风速>4m/s (测量平均值=6.3m/s)。				

8 跟踪器测试程序

8.1 目测检查

8.1.1 目的

本测试的目的是检查从部件到整个跟踪器结构中任何肉眼可见的缺陷。在所有其他测试前后都应做目视检查，以检测和记录可能因测试引起的未知问题。除非在特定的测试中有规定，目视检查发现的缺陷不作为失效判定。

8.1.2 程序

按以下要求仔细检查每个部件直到整个跟踪器。应以文字和照片的形式记录所有缺陷。

- 部件、外表面或结构件的断裂，裂缝和弯曲。
- 电气连接器、内部接线、母线等的可见腐蚀。
- 机箱表面的可见腐蚀。
- 螺钉、螺母、垫片的可见腐蚀。
- 螺钉、螺栓、螺母、线套等的松动。
- 电线或电缆的开裂、磨损和其它损坏。
- 端子错接、带电部件裸露等。
- 影响功能、性能及安全的其他情况。

记录所有测试期间恶化或发生改变的情况。松动的螺钉、螺栓、螺母应按制造商的安装说明紧固。

8.1.3 要求

初始目测检查不应存在影响安全或性能能的缺陷，应满足以下要求：

- 带电部件和线圈应设计成有积水时不工作。
- 无端子错接或松动。
- 无裸露的带电部件或通电导体。
- 严重影响结构性能的或可能对跟踪器周围工作人员造成伤害的裂缝。

其它可能影响的安全因素也应记录在测试报告中，但不作为是否失效的判据。

8.2 功能验证测试

8.2.1 目的

功能验证测试的目的是确保跟踪器满足制造商在规格表中所明确的基本设计要求。虽然本标准规定了多个功能验证测试项目，但对制造商没有宣称的功能，可不做测试。除非另有说明，功能测试的结果取决于机械部件与电子控制系统的综合作用。若设计迭代中更改了任何上述部件，则应重新进行功能测试以符合本标准的要求。

8.2.2 跟踪极限验证

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器，驱动跟踪器的每个旋转轴至其两端极限跟踪位置。验证跟踪器可自动运动至预期的极限位置并停止，应以角度的形式记录极限位置。

8.2.3 硬限位开关

本测试只适用于使用了硬限位开关的系统。按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。对于每个跟踪极限位置，驱动跟踪器超过此位置以触发限位开关。制造商应规定驱动跟踪器超过正常跟踪极限的方式。应验证，碰触硬限位开关后，运动停止且驱动系统供电电路断开。应确认没有对跟踪器系统造成损害。

8.2.4 断电或反馈传感器被遮后的自动追日

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。跟踪器处于其自动追日模式，确认此时指向误差小于报告中的低风速情况下第95%精度。所有控制与驱动器系统供电电源应被切断至少一小时（不包括制造商内置的不间断备用电池），一小时后恢复跟踪器系统电力供。应验证在没有人干预的情况下跟踪器恢复追日模式且跟踪精度满足报告中低风速的第95%精度。跟踪器可不立刻回到正对太阳位置，但应能通过自校准后回到此位置。应在测试报告中记录从电力恢复到回归自动追日模式所用的时间。本测试应在真太阳时正午的两小时内进行，且从电力恢复到跟踪器回归追日状态期间，太阳应是清晰可见的。

若控制器采用太阳位置传感器作为主动反馈，应重复上述测试；但不切断电源，而是将太阳位置传感器遮盖1小时。应在报告中记录从移除遮盖物到回归追日模式位置所的时间。本测试应在真太阳时正午两2小时内进行，且从移除遮盖物到跟踪器回归追日模式器件，这一段时间内，太阳应是清晰可见的。

8.2.5 手动操作

本测试仪适用于具备手动操作模式的跟踪器。按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。应验证操作人员可在分别对两个轴进行两个方向的驱动。同时应验证跟踪器处于自动追日模式时手动控制优先于自动控制。

8.2.6 急停

本测试仪适用于有急停功能的跟踪器。按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。需确认在驱动系统电源供应电路已经打开时，按下急停，跟踪动作能在1s内停下来。来自风和其它外力的振动可接受。

8.2.7 维护模式

本测试仪适用于有维护模式选项的跟踪器。按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。进入维护模式并确认其位置。在维护模式时也应确认跟踪器驱动系统电源电路已断开。

8.2.8 工作温度范围

因为测试的成本和难度问题，工作温度范围不在户外条件下验证。作为替代，应在制造商的规格表中给出的最高和最低工作温度下验证传动系统和电子控制器件的工作性能。按条款8.5进行加速环境测试。条款8.5测试中不包括完整负载，承载结构以及外部载荷因素，因此仅是工作温度范围的有限验证。

8.2.9 避风

本测试仪适用于有避风功能的跟踪器。按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。按制造商的要求将风速传感器或其它合适的输入信号接入跟踪器的控制系统中。若采用风速传感器，可用风扇或其它方式使风速超过避险触发风速。应验证当风速传感器或输入信号超过规定的风速时，跟踪器移至避险位置。应在报告中记录测得的实际避险位置的角度。

8.3 性能测试

8.3.1 目的

性能测试的目的是量化跟踪器的能耗和避险耗时。除非另有规定，性能测试的结果取决于机械部件和电子控制系统的综合作用。若设计迭代中更改了任何上述部件，则应重新进行功能测试以符合本标准的要求。

8.3.2 日能耗与峰值功耗

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。在条款7跟踪精度测试过程中，将功率和能量传感器（精度至少为1%）接入跟踪器的供电电路。整个跟踪器精度测试中，至少每5分钟记录一次能量损耗。为测量峰值功率，功率测量的采样频率应至少为1Hz。

将测量结果划分为跟踪和非跟踪两组。用测得的能耗的平均值来确定跟踪和非跟踪时的每小时平均能耗，分别乘以12。记录12小时跟踪能耗和12小时非跟踪能耗。

将测得的功率划分为跟踪和非跟踪两组。应确定两组数据的有效峰值功耗。若采用交流供电，也应记录两组数据的视在峰值功耗。

应记录能耗和功耗测试对应的平均风速（见7.4.2.3）、日期和纬度。

8.3.3 避险时间、避险能耗和避险功耗

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。跟踪器应位于离制造商声称的避险位置的最远处。将能量传感器（精度至少为1%）接入跟踪器的供电电路。应在测试期间测量风速（见7.4.2.3）。触发跟踪器向避险位置移动的同时开始记录时间、能耗和功耗。跟踪器应被触发以到达避险位置。应记录移动至避险位置所需的时间和能耗，也应记录峰值功率和视在峰值功率（如适用）。

避险过程中的平均风速的记录应与避险时间、避险能耗、峰值功耗对应。

推荐跟踪器在高风载条件下重复8.3.3测试。通常跟踪器会安装电池作为备用电源以确保电网断电的情况下仍能完成避险。空载条件下测试避险时间和避险能耗不足以确定电池备用系统的容量是否合适。若需在加载情况下重复8.3.3测试，应根据8.4.4.2中的公式2确定载荷，并选取一种方式确定力矩系数 C_M 。应按1.1倍触发避险风速计算施加于给定旋转轴上的最大力矩。由于跟踪器设计的多样性，应由制造商确定加载的方式。一种可能方式是跟踪器从垂直位置移至水平位置，这种情况下，可在跟踪器处于垂直位置时在底部加载负载。虽然旋转轴转动过程中力矩会发生变化，但这是一种简单低成本的加载方式。

8.4 机械性能测试

8.4.1 目的

本条款规定了传动系统重复性、施加力和力矩时的形变、反冲、机械移位测试，以及跟踪器在指定风速和其它负载情况下性能的验证。应注意这些测量有别于精度测试：精度测试是整个系统（包括结构、电子器件、算法，传感器）在真实环境下测试。以下测试只单独针对跟踪器的机械方面。因为某些机械测试的独立性，并非所有设计迭代都需要重测以符合本标准。每个测试独立确定是否需重测。

8.4.2 控制/传动系统指向重复性测试

8.4.2.1 目的

加机械负载后的控制/传动系统指向重复性是替代跟踪精度测试的可选测试。本测试不适用于某些纯闭环控制的控制器。本测试的目的是通过固定指向矢量将跟踪平面移至指定位置以测量跟踪器控制系统和传动机构的重复性。加载前后稳定的指向重复性是跟踪器是否通过测试的判据。若跟踪控制器不具备移至满足要求的指定位置的功能，至少一个且不包括极限位置（如许多闭环控制器不含有此选项），则采用7.4的机械加载前后的跟踪精度测试来替代指向重复性测试。机械加载后的跟踪精度测试可只限于低风速时的光伏方阵最大形变点。指向重复性测试（机械加载后的性能验证）优先于跟踪精度测试，因为其所需时间较短且不依赖于太阳。指向重复性测试成本更低，因此制造商可在其软件控制中提供指向或停在适当位置的功能。控制/传动系统指向重复性依赖于机械部件与电子控制系统的综合作用。若选择了控制/传动系统指向从重复性测试，且设计迭代中更改了任何上述部件，则应重测以符合本标准的要求。

8.4.2.2 程序

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。激光器或其它合适的器件安装在距跟踪平面中心1.5m范围内。激光器可指向跟踪平面的任何方向，只要方便定位目标点即可。跟踪器移至用于指向重复性测试的位置。目标置于远离激光器的某一距离，此距离保证指向精度可测量到（制造商标称的指向精度）/3或 0.02° ，取较小值。目标杆应置于不影响跟踪器完整运动的位置。激光器和/或目标需调整至初始时激光指向目标中心的 0.02° 以内。目标和激光器应被固定在合适的位置，该位置保证4m/s以下的风速和跟踪器正常跟踪运动时不影响 0.02° 的测量精度。

应将跟踪器的两个旋转轴在正反两个方向各转动至少 5° ，然后运动到指定测量位置。回到指定测量位置后，记录激光在目标上的位置。此过程重复5次。应分别记录两个旋转轴的“控制/传动系统重复性”，即每个旋转轴测试期间的最大偏移，单位是度。对于单轴跟踪器，只考虑一个轴。

8.4.2.3 要求

指向重复性测试应在8.4.3和8.4.5的测试前和后进行。若可顺次完成8.4.3和8.4.5，则只要在8.4.3之前和8.4.5之后各测一次。如上所述，若跟踪控制器不具备移至满足要求的指定位置的功能，至少一个且不包括极限位置，则跟踪精度计算可替代指向重复性测试。机械荷载后的跟踪精度测试只需要测试低风速时的光伏方阵最大形变点。优先采用指向重复性测试而不是跟踪精度测试（以验证机械荷载耐受性能），因为前者测试需时更少并且不依赖太阳。

机械荷载前后的报告指向重复性在10%以内，则判定通过。测量前后的结果应完整地记录于测试报告。

如果用跟踪精度来代替指向重复性，则机械加载前后的光伏方阵的最大形变点的第95%精度在20%之内，判定通过。

8.4.3 静载下的形变

8.4.3.1 目的

本测试为可选项。本测试至少在两种不同静载荷下测量跟踪器结构的形变。规定的荷载条件低于跟踪器运行中可能承受的风载或雪载。加载测试不是为了产生永久结构形变。本测试的目的是发现总的设计问题，并为被测跟踪器的有限元结构模型验证提供第三方测试。验证后的模型可用来预测不同环境条件（如风、雪、冰荷载）下的性能和承受能力。静载下的形变仅取决于跟踪器系统的结构/机械部件，若选择了本测试，且设计迭代中更改了任何上述部件，则应重测。

8.4.3.2 步骤

按制造商推荐的方式安装跟踪器。测试时，跟踪器可加载或不加载制造商规定的载荷。测试结果中应记录负载重量、重心、单元数量，以及测试装置的照片。若跟踪器设计成只适用于一种特定结构的光伏组件，则应安装此类组件进行测试。若跟踪器适用多种类型组件，则可只安装支撑结构进行测试。跟踪器结构件上应至少安装8个形变测量传感器（应以可测量的最大和最小形变的形式记录传感器的精度）。应选择在加载情况下最可能发生形变的位置安装最合适的传感器，示例见图5。为简化描述，图5所示的是单立柱安装的跟踪器，对于所有类型的跟踪器，基本的测量位置应在最靠近承载平面背面的结构处，如，位置1, 3, 4和6应或为承载结构的角落或外围的4个对称的位置。位置2, 8, 7和5应沿着主结构支撑轴等间距分布。若跟踪器结构在各个方向均对称（如图5所示），则形变测量传感器的最小数量可由8个减少为4个。在本示例中，可不进行位置4, 5, 6和8的形变测量，因为其结果与位置1, 2, 3, 7近似相同。传感器安装到位后，在4种不同的负载结构（见图6和图7）和两种载荷级别下进行测量。若跟踪器不能完全到达水平或垂直方向，则实际负载结构应尽可能接近水平或垂直安装，且应记录实际达到的方向。图6和图7中的所有载荷即对应的结构件上的点载荷都是简化图。图6所示跟踪器有四根结构肋条，而实际跟踪器的肋条数量是任意的，点载荷也可相应地调整。

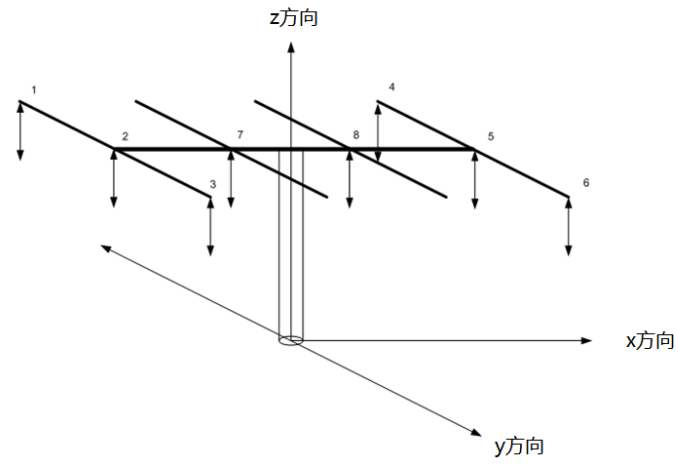


图 5. 结构形变测量位置示例

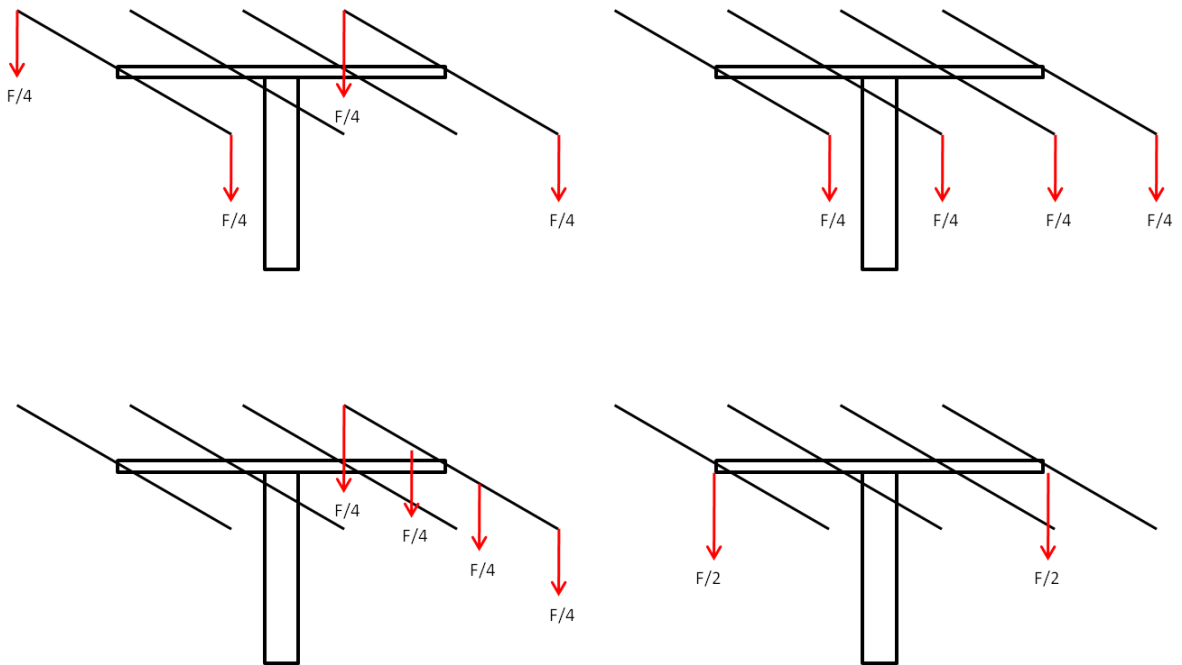


图 6. 水平位置承载的负载结构

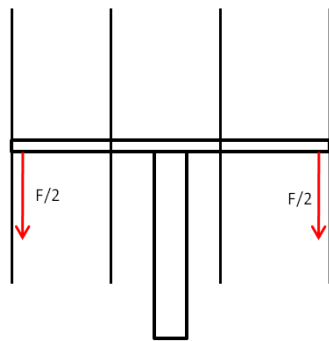


图 7. 垂直位置承载的负载结构

无论何种类型的跟踪器，点载荷应等距分布并完整记录于测试报告中。测试中的两种载荷级别分别是 $F=(20\text{Pa}) * (\text{标称承载面积, 单位是}\text{m}^2)$ 和 $F=(100\text{Pa}) * (\text{标称承载面积, 单位是}\text{m}^2)$ 。所指定的载荷级别是为了提供非永久的或不损害跟踪器的可测形变。虽然上述指定的载荷级别被认为是轻载荷，但并不是均布于整个承载结构。因此，跟踪器制造可选取适合于特定设计的载荷级别。应在报告中记录所有的载荷级别和位置。

所有形变测量应至少重复3次。应记录每一载荷级别和负载结构下的所有形变点的重复测试值。应注意避免在影响形变测量的风速下进行测试。

8.4.3.3 要求

若选择了本测试，则应满足如下要求：照片和图表应能充分记录所有形变传感器和载荷施加位置。应用表格记录所有载荷级别和负载结构下的最大、最小及平均形变。应记录形变传感器和测试测试过程中的最大风速。应满足如下测试才判定为通过本测试：

- a) 加载前后所有测量位置的形变在5%以内。
- b) 本静载测试完成后，跟踪器通过了8.4.2.3的测试。

8.4.4 扭转刚度，机械移位，传动力矩及反冲测试

8.4.4.1 目的

扭转刚度的测试目的是测量跟踪器每个驱动轴在施加扭矩后的角位移。计算施加的最大转矩以模拟风载条件下的运行状态。分别在传动机构工作和停止工作时施加最大力矩以验证传动系统不会反冲或移位，且传动力矩足以确保跟踪器在风载下运行。施加的力矩应以固定的速率从0加到最大值，以此提供反冲信息作为本测试的结果。扭转刚度，机械移位，传动力矩及反冲测试取决于组成传动系统而不是电子控制系统的零部件。若设计迭代中变更了传动系统零部件，应重做以下测试以满足本标准的要求。以下测试对于联动式跟踪器是可选的，因为本测试不适用于如此复杂的系统。推荐制造商向测试实验室提供扭转刚度、机械移位、传动力矩及反冲的替代测试方案。若采用了替代方案，应将其记录在测试报告中。

8.4.4.2 步骤

本条款仅测试传动系统的扭转刚度，因本测试时跟踪器可不安装负载和基础（即可在室内或室外测试）。传动系统的安装形式应便于在两个轴上加载力矩。应在传动系统的每个转动轴上安装合适的角位移传感器（精度至少达到被测最大角位移的2%）。

应在每个轴上施加净力为0的力矩载荷，在一分钟时间内以固定的速率将力矩从0加到最大计算力矩。达到最大值后，力矩应以相同的速率从最大值减小到0，之后反转方向进行重复测试。此循环应重复至少3次，以最大力矩的10%增量间隔记录角位移，图8是在高度角轴上施加力矩的示意图。

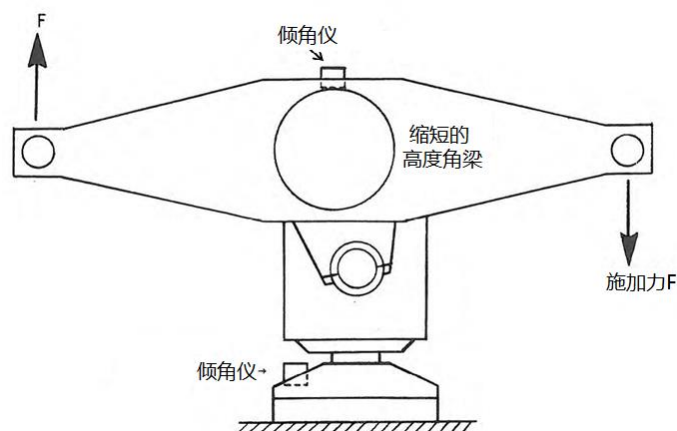


图 8. 高度角轴上施加力矩

通常跟踪器每个轴上的峰值力矩是风载造成的，因此本测试将分别在3种风载条件对应的3个最大力矩下完成，即：10m/s、制造商规格表中标称的避险风速和1.1倍避险风速。系数1.1考虑的是

避险过程中可能遇到的增强阵风。若跟踪器没有避险位置，则应采用标称的运行最大风速代替避险风速。若规格表未提供运行最大风速，则用40m/s来代替避险风速。图9是基本运行风载下力矩和角位移的理想化关系图。

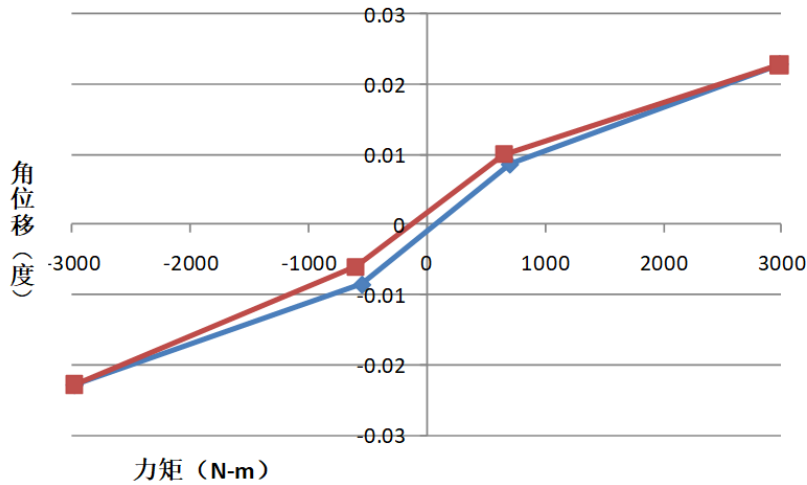


图 9. 角位移与施加在旋转轴上的力矩的关系图

图9中角位移与施加的力矩的关系表明以下两点：第一，力矩上升和下降曲线之间一般会有滞后现象。第二，力矩从低值向中间值增加时一般会出现明显的斜率变化，这代表了反冲。本示例中，斜率在±0.01°时发生变化，因此反冲记录为±0.01°。若斜率有明显变化，如图9所示，则传动系统的反冲等于10m/s风速对应力矩下进行的三次循环中斜率变化点的角位移的平均值。若斜率缓慢变化，则反冲等于±20%的10m/s风速对应力矩下的最大角位移的平均值。若最大反向力矩和最大正向力矩之间斜率没有变化，则应注明反冲无法测得。

按公式2计算每种风速对应的最大力矩：

$$Torque(N \cdot m) = 0.5C_M \rho V_{test}^2 A_{ref} L \quad (2)$$

其中：

C_M ：无量纲的力矩系数；

ρ ：空气密度（一般为1.225kg/m³）；

V_{test} ：按公式1计算出的旋转轴上的风速（见6.12.3），

A_{ref} ：最大承载面积，用m²表示。

L ：加载力矩在承载结构上的作用长度。

图10（a）为跟踪器的侧视图及高度角力矩的作用长度，图10（b）为跟踪器的俯视图及方位角力矩的作用长度。制造商可按以下三种方式提供公式2中 C_M 值。无论选择哪种方式，应在测试报告中记录施加于跟踪器每个轴上的最终力矩，及对应的参考面积和作用长度。优先顺序为a）>b）>c），如果选项a及选项b均被采用，则第三方数据必须证明在方位角的全范围内及高度角的90°范围内分级覆盖（正视图为一个极端，侧视图为另一个极端）。假设跟踪器有一个水平避险位，则从第三方风洞测试或现场测试数据得到的避险位力矩系数应该为跟踪器相对水平位置10°的值。这个与水平方向差值归因于现实中水平风流的差值。如果实际风洞及现场报告没有在特定的10°上取值，而在涵盖10°的多个角度上取值，这种情况下可以采用拟合的方法得到避险位力矩系数。

方式a)：第三方风洞试验室根据跟踪器的比例模型风洞测试得出的风压数据推导出的力矩系数。

方式b)：第三方工程公司可根据承载面上光伏方阵处的压力测试数据推导出力矩系数。用于推导力矩系数的压力数据应以至少至少10赫兹的频率采集。如，可通过现场验证第三方计算流体力学（CFD）模型，并推导 C_M 。

方式c)：若未进行第三方测试，则 C_M 的最小值应满足：

- 不同跟踪器位置的 C_M 不小于0.25。（适用于8.4.4.2测试以及没有水平避险功能的跟踪器的8.4.5.2测试）。

- C_M 不小于0.08（适用于水平避险位置的跟踪器的8.4.5.2测试）。

对于没有进行第三方风载分析的跟踪器，推荐8.4.4.2测试中的 C_M 取0.5或更大，8.4.5.1测试中的 C_M 取0.15或更大。风洞测试表明对于装有一个单元方形承载面的跟踪器，高度角轴的 C_M 可达到0.6，方位角轴的 C_M 可达到0.7。本标准适用于多种跟踪器，且通过优化设计可降低跟踪器的风载，因此通常认为 C_M 明显小于0.7。负载剖面、跟踪器高度、现场跟踪器的数量、负载孔隙、扰风部件的设计等因素都会影响 C_M ，如：联动式跟踪器的 C_M 可降低1/10，因为即使在同一驱动系统下边界与中间位置的风速可显著不同。

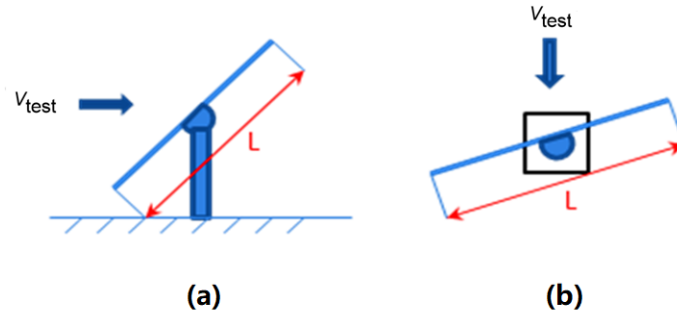


图 10. 力矩的作用长度：（a）高度角力矩（b）方位角力矩

应在1.1倍表2给出的避险风速计算出的最大力矩下验证“无机械移位”和“足够的传动力矩”。当达到此力矩后，应保持加载的力矩稳定，且至少1分钟后再测量角位移。若在此固定载荷下角位移变化不超过10%，则判定为传动系统无机械移位。继续保持此固定力矩，被测轴不受受限于施加的力矩，仍可在正常驱动机构作用下运动。在30s监控时段内，若旋转轴可以至少50%额定速度运动且不停止，则判定为在给定的风载下，驱动系统有足够的传动力矩。

8.4.4.3 要求

应在照片或图表中记录所有位移传感器和载荷施加点的位置。测试报告中还应记录所用设备的精度及加载设备。测试报告中还应包括基于给定风速计算的3中不同载荷条件下的角位移和施加力矩的对应关系图。传动系统应满足：

- 每个测量位置在加载前和加载后（驱动系统启动之前）测得的角位移偏差小于5%。
- 无机械移位。
- 施加力矩的情况下传动机构仍可按规定驱动旋转轴。

8.4.5 极端风载下的力矩测试

8.4.5.1 目的

跟踪器应能在现场工作20年以上，因此应验证其结构设计可承受40 m/s的风速（或制造商指定的最大承载风速）。因为在此条件下大多数跟踪器都处于避险位置，所以本测试首要目的是验证极端风速下在避险位置的承受能力。若跟踪器已按8.4.3安装了位移传感器，则应在本测试中的记录位移，为结构模型验证提供额外数据。极端风载荷下的力矩测试取决于传动系统而不是电子控制系统的部件。若设计迭代中更改了任何传动系统部件，则以下测试应重测以符合本标准的要求。对于联动式跟踪器，以下测试是可选的，因为本测试不适用于如此复杂的系统。推荐制造商向测试实验室提供极端风载下的力矩测试的替代方案。若采用了替代方案，则应将其记录在测试报告中。

8.4.5.2 步骤

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。如果制造商选择进行8.4.3测试，则应进行附加位移测试并报告中记录。应按图11所示对跟踪器施加两种力矩载荷。

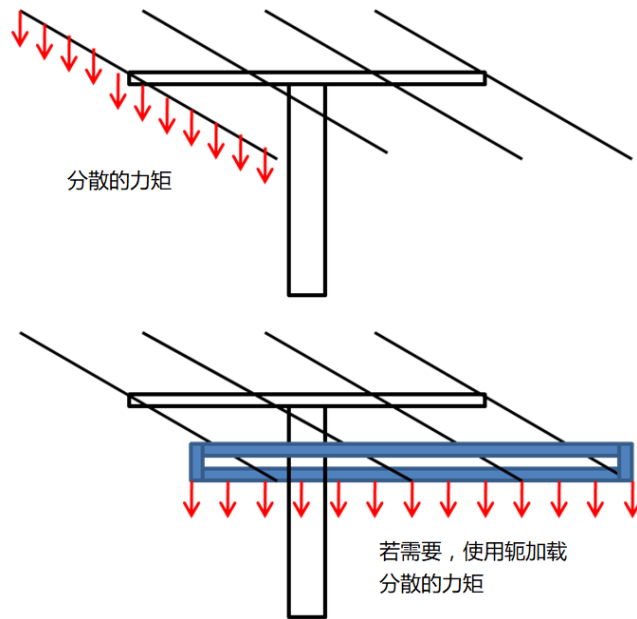


图 11 两种极端风载结构

图 11是跟踪器在水平的位置或其能达到的最接近水平的位置时的承载。计算得到的力矩载荷应均匀分布且直接加载到支撑结构上。分散的力矩通过均匀压力或均匀负载得到，推荐前者。加载的力矩对应于40m/s风速（或制造商标称的最大承载风速）。

采用公式 2计算40 m/s风速时近似的力矩（见8.4.4.2）。在避险位置，应假设风迎角最小，因此 C_M 也会比8.4.4.2测试中的小。应假设在避险位置测试仅适用于高度角旋转轴。若被测跟踪器没有避险位置，则 C_M 应与8.4.4.2测试中的值保持一致，并且2个旋转轴都应测试，因为极端风速发生时跟踪器可能处于任何位置。应满足8.4.4.2中对报告的要求。

跟踪器应在每种载荷等级和每种结构下被加载或卸载至少3次。应记录最大，最小和平均位移值。

8.4.5.3 要求

若选择了8.4.3测试，则应在照片和图表中记录所有位移传感器的位置和力矩载荷施加点，应在表格中记录所有载荷等级和载荷结构下的最大，最小和平均位移，应在报告中记录位移传感器的精度和测试过程中的最大风速。跟踪器应满足：

- a) 加载前及加载后每个测试点位移偏差均在5%以内。
- b) 跟踪器在本加载测试后应能通过8.4.2.3的测试。

8.5 环境测试

8.5.1 目的

本测试的目的是通过在不同环境条件下，对传动系统、控制系统及相关线缆进行加速环境循环以诱发与设计相关的故障及早期失效。以下测试取决于传动系统与控制系统的共同作用，若设计迭代中变更了任何上述部件，则应重测以满足本标准的要求。

8.5.2 步骤

在环境试验箱中安装一个完整的传动系统（包括电子控制箱）。此系统可不安装承载接口和全尺寸地基接口，因此可在环境试验箱中安装代表模型，如：可根据环境试验箱的尺寸缩短安装基座及力矩管，但齿轮箱、液压缸、电机、及其它传动元件应保持实际大小。制造商应向实验室提供在环境试验箱中安装传动系统的方式。被测装置还应包括传动系统的标配线缆和负载的模拟线缆，模拟线缆一般穿过传动系统或在其周围。安装模拟线缆是为了检测由于限位开关或其它控制系统失效引起的跟踪旋转超过设计位置的失效。当传动系统及控制系统安装好后，应拍下照片并目视检查。

在制造商规定的工作温度范围内进行环境循环的同时，传动系统应进行工作循环。测试实验室应通过摄像头或其它合适的设备确认测试过程期间传动系统的运行情况。典型的工作循环应包括所有旋转轴的追日全行程。工作循环是为了模拟被测跟踪器的正常追日运动。每个旋转轴的平均速度不应低于0.005 %/s且不超过0.015 %/s。回到工作循环的起始状态(即：一天的起始位置)的速度没有限制。对于带闭环控制器，可采用模拟信号代替太阳位置传感器的反馈信号。在此情况下，测试报告应注明本测试不包括反馈传感器。制造商应提供在环境试验箱内重复工作循环的方法，以及当关键器件的表面温度超过规格表给出的工作温度范围时停止工作的方法。制造商应指定哪些器件的表面温度决定工作循环进行还是中止。采用表面温度而不是环境箱温度是因为发热量大的驱动系统的表面温度明显滞后于环境箱内的空气温度。本环境测试过程中不要求传动系统加载。应在测试报告中记录工作循环的设定、表面温度的测量位置和工作温度。

环境测试之前，每个旋转轴上应加载规定的最大载荷。最大指定载荷不包括风荷载和在室外环境中会遇到的其他外部载荷，仅包括承载界面及额定负载产生的静载荷(如组件、反光镜和结构件等的重量)。最大指定载荷可通过任何合适的方法分别加到每个旋转轴上。测试过程中一般不需要在传动系统上加载实际的负载，除非这是传动系统加载测试的最经济的方法。如，可在高度角轴上加杠杆并按制造商的规定加载重量。环境测试前，应测量在此载荷下的能耗(精度至少为1%)和完成一个工作循环的时间。环境测试完成后，在进行相同的测试。

跟踪器的可操作的传动系统要以如下的顺序对同一个样品进行如下的环境测试：

- a) 带灰尘的温度循环(空气不加湿)：至少完成40个周期及480个小时。最高温度55⁰ C，最低温度-20⁰ C。若表1中(见6.12.1)规定的跟踪器的工作温度范围超过-20⁰ C~55⁰ C，则应将本测试的温度范围扩展至规定值。即：-20⁰ C~55⁰ C只是最小测试温度范围，应采用规格表中规定的更严酷的温度。每个工作循环应在最低温度和最高温度的±3⁰ C内停留至少5min，但不应超过15min，并在驱动系统三个不同位置上测量表面平均温度。应记录温度测量点，并阐明表面温度测量选取的是被测系统上发热量显著的位置。前240小时内，灰尘应在驱动系统的动态机械界面周围循环。应使用ISO1203-1规定的等级为A4的灰尘(粗细颗粒均包含)。可采用局部灰尘循环装置，而不是整个环境室的灰尘循环。采用吹风机或其它装置确保灰尘在空气中的循环。由于灰尘的沉积，在240小时的测试过程中可能需要定期向鼓风机系统加入灰尘。整个测试过程中，应每隔10分钟采用视频、照片或其它方式记录空气存在可见灰尘。另一种替代方案是在480小时的温度循环测试之前在恒定温度下进行240小时的灰尘测试。推荐灰尘和温度循环结合，不仅因为可以缩短测试时间，还因为温度循环可导致密封件和其他部件膨胀和收缩，加重灰尘渗入到可导致故障的地方的能力。提供替代方案是因为可能没有相应的设备或者太贵。
- b) 以上温度循环完成后，进行工作温度验证(见8.2.8)。驱动系统暂停工作。环境箱保持在指定的最低工作温度直到驱动系统的表面达到此温度，继续保持最低工作温度1个小时。之后，启动传动系统进行工作循环。目测5分钟确认跟踪器按照预期工作。若传动系统在30秒内未动作，则可停止启动以防损坏。重复上述测试过程以验证指定的最高工作温度。
- c) 湿冻循环：应完成10个周期及240小时。单次循环应从湿热(55⁰ C，相对湿度85%)到最低温度(-20⁰ C)的变换。若表1中(见6.12.1)规定的跟踪器的工作温度范围超过-20⁰ C~55⁰ C，则应将本测试的温度范围扩展至规定值。。即：-20⁰ C~55⁰ C只是最小测试温度范围，应采用规格表中规定的更严酷的温度。每个工作循环应在最低温度和最高温度的±3⁰ C内停留至少5min，但不应超过15min，并在驱动系统三个不同位置上测量表面平均温度。应记录温度测量点，并阐明表面温度测量选取的是被测系统上发热量显著的位置。
- d) 冷冻/喷淋，湿冻循环之后：环境试验箱温度调整到25⁰ C并保持24h。在此温度下，向传动系统和控制器各个方向淋水。应采用内径为6.3mm的喷嘴，在低压下保持稳定水流量15.5 L/min (+/-5%)，至少进行3分钟测试。喷嘴应放置在距离跟踪器传动系统和外壳表面2.5~3米。对于面积较大的区域，每平方米至少持续喷水1分钟。

喷淋试验完成后，闭合环境试验箱，将温度降低到-15⁰ C并保持24小时，之后关掉电源。

每个环境测试循环开始前，应打开环境试验箱并进行目测检查。液体泄漏、腐蚀和其他尚未破损但将来可能成为问题点的外部磨损，应拍照并记录。

完成最终的冷冻喷淋测试后，传动系统进行最后一个工作循环。对每个旋转轴加载规定的最大载荷（如：组件、镜子、固定用的结构件等的重量，不包括诸如风载荷的产生的外部载荷）。应对条款8.5涉及的所有部件和控制器进行本工作循环。最大指定载荷可通过任何合适的方法分别加到每个旋转轴上。测试过程中一般不需要在传动系统上加载实际的负载，除非这是传动系统加载测试的最经济的方法。如，可在高度角轴上加杠杆并按制造商的规定加载重量。应记录完成最后一个循环所需的时间和能耗。应完成最后外部目测检查，通过照片记录液体泄漏、腐蚀和其它异常。完成外部目测检查之后，拆卸传动系统和控制箱，对其内部进行相同的目测检查。

8.5.3 要求

加速环境测试应满足：

- a) 传动系统应能完成测试过程中要求的连续的工作循环（测试过程中允许的中止除外）。
- b) 传动系统应能在最终的冷冻/喷淋测试之后，拆卸之前，完成最终的工作循环。完成此循环所用时间和能耗不超过环境测试前的测量值的20%。
- c) 如果进水，则不应：
 - 影响设备的正常操作或破坏安全性。
 - 进入不允许在潮湿状态下运行的带电部件及接线。
- d) 驱动系统的所有部件和外壳没有以下裂缝（应记录其他裂缝，但不判定为失效）：
 - 导致润滑油或者压力油流出或缓慢泄露的裂缝
 - 严重影响结构性能或可能对跟踪器周围工作人员造成伤害的裂缝
 - 严重影响跟踪器电气性能的裂缝。
- e) 电缆不应有导致导体外露的磨损或擦伤。扭曲产生的弯曲半径不应小于独立铠装/绝缘导体直径的12倍或多芯电缆外径的7倍。
- f) 无错接或松动的端子。
- g) 无影响安全的松动的螺钉、螺栓、螺母或垫片。应在报告中记录所有松动的螺钉、螺栓、螺母和垫片。
- h) 通过指定的工作温度（见8.2.8）的验证。

8.6 加速机械循环

8.6.1 目的

本测试的目的是通过对传动系统、控制系统及相关线缆进行加速循环以诱发与设计相关的故障及早期失效。因为以下测试依赖于传动系统与控制系统的相互作用，若设计迭代中变更了任何上述部件，则应重测以满足本标准的要求。

8.6.2 步骤

按条款7.4.2.1的要求安装跟踪器。被测装置还应包括传动系统的标配线缆和负载的模拟线缆，模拟线缆一般穿过传动系统或在其周围。当驱动系统及控制系统安装完成后，应拍照并进行目视检查。

传动系统的每个循环应包括所有旋转轴从一个极限位置运动到另一个极限位置后再返回。制造商应提供确保两个旋转轴在连续循环中同时运动的控制方法。本连续循环是加速了的典型追日运动，包括了跟踪器从日出到日落的12h之间的启动/停止或连续运动的工作模式。图12是追日曲线图，其中 t_{step} 是常规的离散追日运动， t_{pause} 是太阳在跟踪器可接受的跟踪指向误差范围内时的停留， t_{wait} 是跟踪器回到每天初始位置前或后的长时间停留， t_{drive} 是跟踪器运动到每天初始位置的时间。要达到加速机械循环的目的，关键是加速循环能模拟正常使用时的机械磨损。因此，加速机械循环测试应与一天12h太阳光下的跟踪具有相同启停止次数。假设在典型日，太阳运动的方位角是 180° ，高度角是 $\pm 50^\circ$ ，制造商应据此计算每个轴每天的平均启停次数。传动系统的加速机械循环中每个轴的启停应与典型日计算出的次数相等。对于方位角轴，推荐通过启停逐步运动至跟踪器西向极限位置，对于高度角轴，向上和向下运动过程中分别完成一半的启停次数。

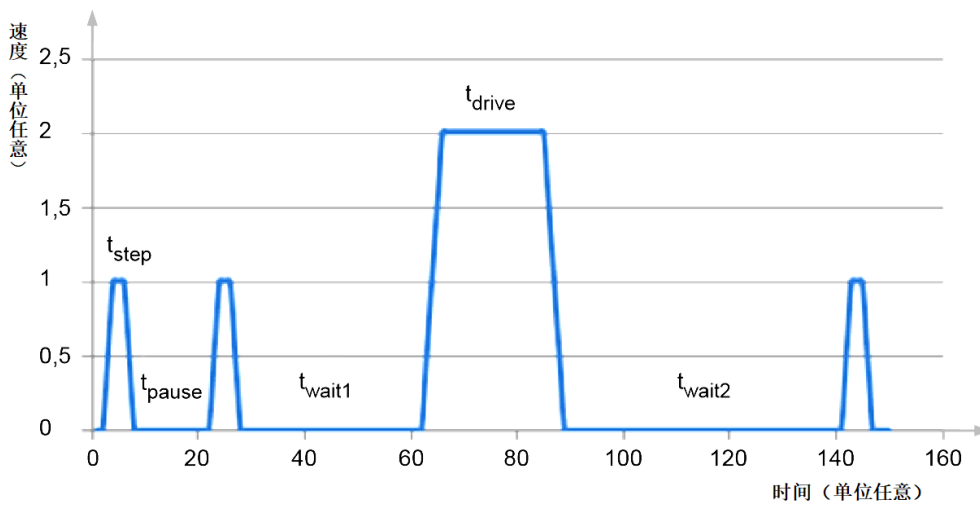


图 12 跟踪器离散运动曲线示意图

为了缩短测试周期，可选用图13的加速循环，所有停留时间被明显缩短，步长时间和速度被加大。但是，图13仅是示例，实际的加速循环取决于跟踪器的典型工作曲线。

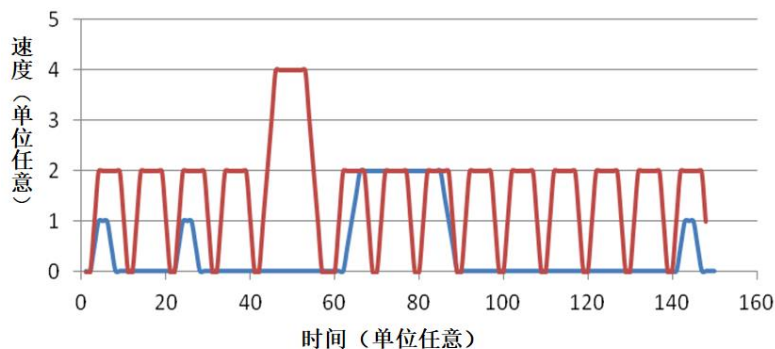


图 13 测试用加速离散运动曲线的示意图

另一种完成“典型传动循环”的方案是加快控制器的时钟，加速完成一个天文年的追日运动（本方案只适用于采用天文算法的控制器）。可循环之间加入间歇时间以维持传动系统部件的温度。

加速循环会使执行单元、电机、泵、电源等发热异常，所以允许对电机、泵和其它驱动系统部件进行外部冷却。如果采用了外部冷却，则任何情况下都不能用把温度降低到低于周围温度或预期的正常工作温度。预期的正常工作温度是在在DNI为850 W/m²以上的晴天测得的相关驱动系统部件的相对于环境温度的温升。

系统应完成3650个循环（10年乘以每年365天）。循环时间虽无限制，但如果不最小化则会导致测试时间很长。如：单次循环24分钟且不停机，则总测试时间为2个月。

可能不是所有机电系统部件均设计为可运行10年且无基本的预防性维护（PM，如：润滑、换油）或者纠正性维护（CM，维修或替换磨损或失效的部件）。制造商应确定测试过程中是否需要停机以进行PM或CM，且应在机械循环开始前与实验室沟通。CM计划之前，任何部件的失效都将视作测试失败。制造商也可因为其他原因制定测试中断计划并与实验室沟通，如，在夜间进行3650个加速循环以便跟踪器在白天追日。预先确定的PM、CM和中断计划要作为测试报告的一部分。测试报告中应记录所有PM和CM所需的停止时间，以及维修或更换的所有部件清单。报告还应记录跟踪系统的可用性。本测试中，可用性定义为测试的总时数减去PM和CM的总停工时数后再除以测试的总时数。测试的总时数不包括预定的白天追日时间或其他与加速循环无关的时间。制造商应为预防性和纠正性维护提供技术团队。确定进行PM和CM后，应停止测试计时，技术团队到达现场并开始维护时重新开

始计时。这是为了避免因为维护刚好处在周末或需长途旅行才能到实验室而导致的非正常时间延迟。应采用视频、记录仪和其他合适的设备或途径来记录运行时间和停止时间。

8.6.3 要求

- a) 记录设备应能提供无故障完成3650个循环的证明。
- b) 如果进水，则不应：
 - 影响设备的正常操作或破坏安全性。
 - 进入不允许在潮湿状态下运行的带电部件及接线。
- c) 未出现以下裂缝（应记录其他裂缝，但不判定为失效）：
 - 导致润滑油或者压力油流出或缓慢泄露的裂缝
 - 严重影响结构性能或可能对跟踪器周围工作人员造成伤害的裂缝
 - 严重影响跟踪器电气性能的裂缝。
- d) 电缆不应有导致导体外露的磨损或擦伤。扭曲产生的弯曲半径不应小于独立铠装/绝缘导体直径的12倍或多芯电缆外径的7倍。
- e) 无错接或松动的端子。
- f) 无影响安全的松动的螺钉、螺栓、螺母或垫片。应在报告中记录所有松动的螺钉、螺栓、螺母和垫片。
- g) 机械循环之前和之后均应依据条款7.4进行跟踪精度测试。机械循环后可仅在方阵最大偏移点和低风条件下的进行跟踪精度测试。机械循环之前和之后的第95%精度均应在20%以内。若采用传动系统指向误差代替跟踪精度测试，则机械循环前后的指向重复性应在10%以内。
- h) 除了CM计划中需要更换的部件外，不应更换其他部件。如果CM计划中更换的部件早于指定的时间失效则视为不通过。

9 跟踪器电子部件的设计验收

9.1 目的

跟踪器的电子部件与机械部件的失效机理不同。因此，对所有部件进行统一测试是没有必要的，且会增加测试成本。以下测试的目的是发现跟踪器的电子部件系统（ECS）的早期失效。ECS包括电子控制器件、电源、传感器、编码器和机箱等，但不包括驱动部件如电机、传动缸、阀、泵及其他机械部件。不同的跟踪器机械设计可采用相同的控制系统，因此跟踪器的ECS可依据条款9只进行一次测试。采用满足条款9的ECS的跟踪器，还需满足条款7和条款8的测试后才通进了整个设计验收。ECS的所有部件共同控制跟踪器，因此ECS 应作为一个整体进行功能测试。

9.2 电子部件的测试程序

9.2.1 总则

应提供指定部件的3个样品进行图14要求的测试序列。

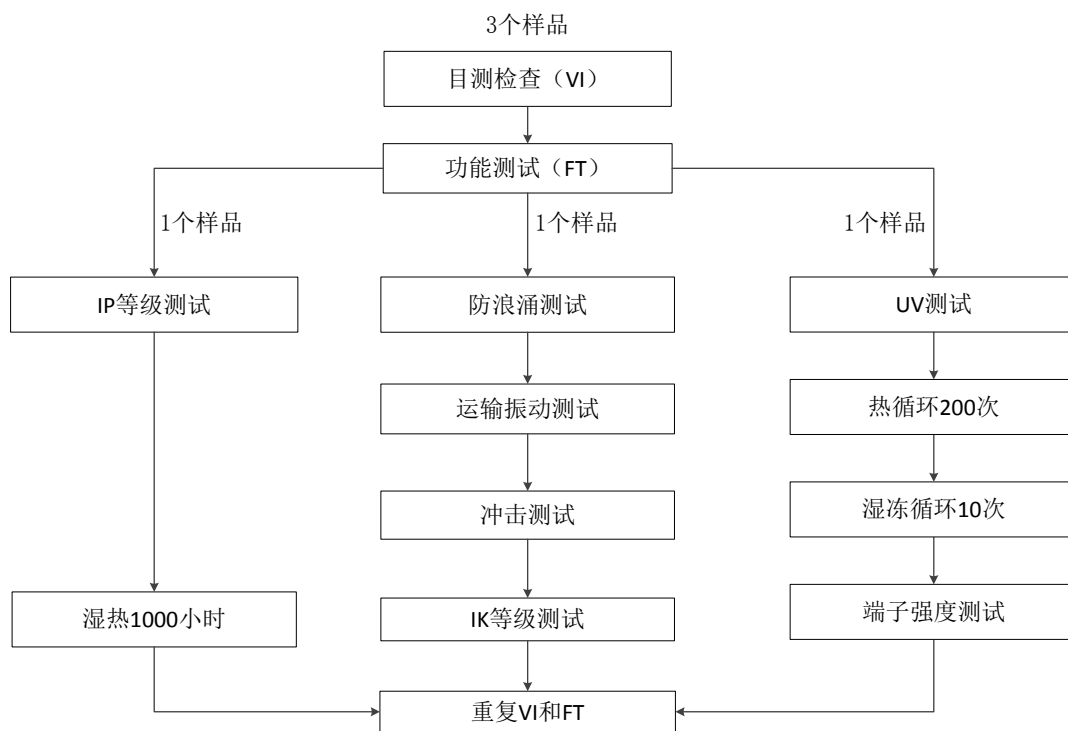


图 104. 电子部件的测试序列

9.2.2 电子部件的目测检查

9.2.2.1 目的

本条款的目的是检查跟踪器电子部件的所有可见缺陷。测试开始前和结束后均应进行目测检查，以发现和记录由于测试引发的问题。除非有明确要求，否则目测缺陷不判定为失效。

9.2.2.2 步骤

仔细检查所有电子部件，电路板应在40X放大镜下检查。通过文字和图片记录所有缺陷：

- 部件破损、裂缝、弯曲、错位。
- 电气连接器、内部接线、母线等的腐蚀。
- 焊接裂缝，树状突起，印制电路板起层。
- 外壳的可见腐蚀。
- 接线或电缆上的裂缝、磨损和其他损坏。
- 接线端子松动，带电部件外露；。
- 影响功能、性能和安全的其它情况。

记录所有测试期间恶化或发生改变的情况。

9.2.2.3 要求

测试前与测试后的目测检查不应存在以下情况：

- 影响安全的缺陷。
- 影响正常功能的缺陷。
- 焊接裂缝或部件断开。
- 印制电路板起层。
- 印制电路板部件开裂。

9.2.3 功能测试

9.2.3.1 目的

功能测试的目的是验证 ECS 具备设计的功能，主要验证的是具备控制跟踪支架结构的能力。测试序列之前和之后进行本测试，并作为判定通过/失败的标准。

9.2.3.2 步骤

ECS系统按条款7.4.2.1安装在室外的跟踪器上或安装在室外的测试台上。

若安装在室外，则应完成以下测试以验证功能：

- a) 天气晴朗时进行4h的追日。如果控制器不使用太阳辐射反馈传感器，则可采用8.4.2的传动系统指向重复性测试来代替太阳跟踪。
- b) 验证每个旋转方向上驱动对应转轴的能力。
- c) 若适用，验证避险功能的触发及实现。
- d) 验证当所有用于停止运动的开关（如：限位开关、手动开关、停止开关、硬限位开关）触发时，可使动力运动停止。应手动触发此类开关，可采用任何测试人员认为的合适的方法实现。
- e) 若采用手动控制，确认所有手动功能都能按预期运行。
- f) 驱动每个旋转方向对应的轴运转 50° （或全范围运转，取较小者），同时采用精度至少为1%的电能表测量能耗（执行器和控制器的总能耗）。初始和最终功能测试所用的能耗应在15%以内。

虽然跟踪测试被认为是ECS的最重要的功能测试，但室内测试更易完成且成本更低。应在测试台进行以下功能验证测试：

- g) 应将ECS连接至与其设计相适应的执行器（如：液压泵/阀/缸、直流电机、交流电机等）。应将编码器、反馈传感器、限位开关及所有其他ECS元件连入驱动系统。如果控制器需要加载以实现设计功能，则应允许制造商给驱动系统加载。
- h) 验证每个旋转方向上驱动对应转轴的能力。
- i) 验证控制器控制执行器运动到预定位置的能力。如果控制器采用太阳位置传感器的反馈，则本测试应使用至少 100 W/m^2 的可移动光源和至少 1° 的准直器。将光源与反馈传感器对准后，确认控制器稳定，所有运动停止。光源旋转 1° ，确认执行系统可响应并重新对准光源。在各个旋转方向再重复此过程，将扰动角度增至 5° 再重复。
- j) 若适用，验证避险功能的触发及实现。
- k) 验证当所有用于停止运动的开关（如：限位开关、手动开关、停止开关、硬限位开关）触发时，可使动力运动停止。应手动触发此类开关，可采用任何测试人员认为的合适的方法实现。
- l) 若采用手动控制，确认所有手动功能都能按预期运行。
- m) 在以下位置测量电流和电压：
 - 控制器电源输入。
 - 控制器到继电器、阀、传感器及驱动器的电源输出。
 - 执行系统的输入主电源。

9.2.3.3 要求

- a) 上述所有测试均能满足要求。
- b) 如果进行室外测试，则低风速条件下最小形变点的跟踪精度下降不超过20%（参见条款7）。如果ECS测试时拆除了跟踪器的反馈或其他传感器拆除，则指向误差测量时应重新组装所述传感器。
- c) 如果进行室外测试且采用传动系统指向误差代替跟踪精度测试，则功能测试前后的指向重复性应在10%以内。
- d) 开始测试前所有的电流和电压测量值均应在制造商规定的范围内。假设测试开始到最后ECS装在相似的执行设备上，最大电流与电压测量值在性能测试前后相差小于15%。

9.2.4 防尘防水防异物进入 (IP 等级)

9.2.4.1 目的

防护等级(IP等级)定义为外壳对接近危险部件、防止固体异物、水或灰尘进入所提供的保护程度。通过标准测试方法验证。

9.2.4.2 要求

所有ECS外壳的防护等级不低于IP54。按IEC 4208进行符合性测试。如果ECS的外壳已通过不低于IP54的验证,则无需重复本测试。

9.2.5 对机械碰撞的防护 (IK 等级)

9.2.5.1 目的

防护等级(IK 等级)定义外壳对机械冲击的防护程度。

9.2.5.2 要求

本测试采用GB 2423.55(试验 Eha)规定的摆锤按IEC 62262进行符合性测试。设备(外壳等)预先在-10℃的环境试验箱中放置1小时,移至实验室正常大气环境一分钟之内进行测试。测试方法依据IEC 62262:2002的附录D。设备按准备方法1固定。

所有ECS外壳应满足IK05。

外壳不应有影响操作的裂缝或扭曲。如果ECS的外壳已通过不IK05的验证,则无需重复本测试。

9.2.6 端子强度测试

9.2.6.1 目的

本测试的目的是确定端子及端子部件的固定能否承受正常装配及操作时的应力。

9.2.6.2 端子的类型

应考虑以下3种端子部件:

- A类: 导线或跨线。
- B类: 线夹, 螺柱, 螺钉等。
- C类: 连接器。

9.2.6.3 步骤

预处理: 在标准大气环境下放置1h后进行测量与测试。

9.2.6.3.1 A类端子

拉伸强度测试: 依据GB/T 2423.60的试验Ua及以下要求:

- 所有端子均应测试。
- 拉伸力不超过部件重力。

弯曲测试: 依据GB/T 2423.60的试验Ub及以下要求:

- 所有端子均应测试。
- 测10个循环(正反方向弯曲一次为1个循环)。

9.2.6.3.2 B类端子

拉伸强度和弯曲测试:

- a) 部件带有裸露端子,则每个端子应按A类端子进行测试。
- b) 如果端子固定在保护壳内,按以下步骤测试:

按部件制造商推荐的型号和尺寸准备电缆,并截取合适的长度。按制造商推荐的方法将其连接至外壳内部的端子上。电缆应从葛兰头中间穿过,注意线夹等的安排。盖紧盒盖。之后部件再按A类端子进行测试。

扭力测试: 按GB/T 2423.60的试验Ud及以下要求:

- 所有端子均应测试。

- 严酷等级1。

除非设计为永久联结，否则应能松开所有的螺钉与螺母。

9.2.6.3.3 C类端子

按部件制造商推荐的型号和尺寸准备电缆，并截取合适的长度。连接至连接器的输出端，再按A类端子进行测试。

9.2.6.4 要求

ECS应通过目测检查及功能测试，并无机械损伤。

9.2.7 浪涌抗扰度测试

9.2.7.1 目的

浪涌抗扰度测试的目的是测试跟踪器的电子设备（控制电子、电源、传感器、编码器等）应对闪电、通断电以及其它瞬间短路引进的高电压的能力。

9.2.7.2 步骤

跟踪器的所有元器件、控制器、电源等部件，都应符合GB/T17626.5。除非能证明被测器件适用于更低的等级，否则应将跟踪器的电子设备归为3类（电缆平行敷设的电气环境）。

9.2.7.3 要求

若实验结果出现GB/T17626.5-2008条款9 d)（不能恢复的功能丧失或性能减低）的情况，则电子设备未通过GB/T17626.5。最后目测检查与功能测试应满足要求。

9.2.8 运输振动测试

9.2.8.1 目的

本测试的目的确认机械薄弱点和/或确认特性降低情况。根据GB/T 2423.10，应对在运输（如：海运、空运、陆地运输）中承受谐波震动的结构件进行测试。

9.2.8.2 严酷等级

频率范围:	10 Hz to 11.8 Hz; 11.9 Hz to 150 Hz
恒定振幅:	3.5 mm
恒定加速度:	2 g
扫频速率:	1 oct/min
每个轴的持续时间:	2 h
总测试时间:	6 h

9.2.8.3 步骤

参见GB/T 2423.10。测试过程中样品不通电，但可按运输设计进行包装。

9.2.8.4 要求

最终的目测检查与功能测试应满足要求。

9.2.9 冲击测试

9.2.9.1 目的

与上一测试结合，本测试的目的确认机械薄弱点和/或确认特性降低情况。本测试按IEC60068-2-27进行。

9.2.9.2 严酷等级

加速度:	15 g
冲击类型:	半正弦脉冲
冲击持续时间:	11 ms
冲击频率:	1 s

冲出次数： 18 (6×3)

9.2.9.3 步骤

参见IEC 60068-2-27。测试过程中，样品不包装且不通电。

9.2.9.4 要求

最终的目测检查与功能测试应满足要求。

9.2.10 UV 测试

9.2.10.1 目的

本测试的目的是确认部件承受紫外（UV）辐射的能力。本测试仅适用于无外壳保护的聚合物/电气/电子部件。

9.2.10.2 设备

设备包括以下部分：

- a) 可控制温度的试验箱或其它装置，带有窗口或固定UV光源的装置，被测部件。试验箱应保持部件的温度在 $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且干燥。
- b) 在部件的被测平面上产生辐照均匀度为 $\pm 15\%$ ，且可为每个测试过程提供需要的不同光谱范围的总辐照的UV光源。测试报告应注明使用的UV光源。
- c) 测量和记录部件表面温度的仪器，精度为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- d) 经过校准的辐照计，可测量部件被测平面的辐照度。

9.2.10.3 步骤

- a) 采用校准过的辐照计测量部件被测平面的辐照度，确保测得的波长在280 nm 到 400 nm的光谱辐照度不超过IEC 60904-3:2008表1中的标准AM 1.5太阳光谱分布对应的光谱辐照度的5倍，无可测得的波长低于280nm的辐照度，且被测平面的辐照均匀度为 $\pm 15\%$ 。
- b) 将部件固定在a)中选择的测试平面的位置，其中部件的最关键侧面（例如，电线或电缆最多的一面）与UV辐照光线垂直。如果部件正常使用时，安装在某一个特定方向以屏蔽入射光，那么在试验箱中这个部件可以按这个方向安装。
- c) 保持部件温度在规定范围内，使部件接收的波长在280 nm 到400 nm范围的辐照量为 15 kWh/m^2 ，且其中波长为280nm至320nm的能量占比3%至10%。
- d) 重新调整部件，使其背面正对UV光源。
- e) 重复步骤c)中部件正面的的辐照强度，但持续时间缩短到10%。

9.2.10.4 要求

最终的目测检查与功能测试均应满足要求。

9.2.11 热循环测试

9.2.11.1 目的

本测试的目的是确定部件承受温度循环变化引起的热失配、疲劳和其他应力的能力。

9.2.11.2 步骤

电子部件应经受图5所示的200个热循环，其中最高温度为 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最低温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

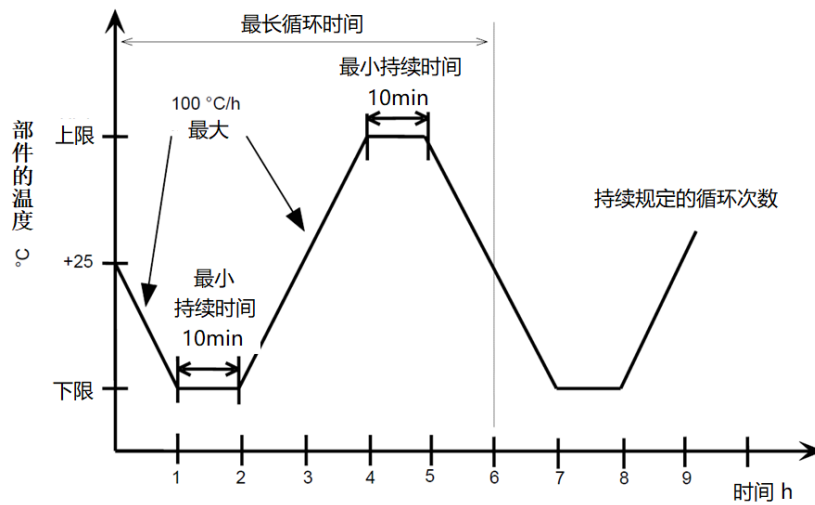


图 15. 电子部件的热循环测试

- 室温时将电子部件置于试验箱内。若部件外壳导电性能差，则将其固定于金属支架上。
- 将温度传感器（精度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）粘到部件表面。穿过部件端子将连通性测量设备接上，将绝缘性监视器接于端子与安装支架之间。
- 关闭试验箱，使部件周围的空气流通速度不小于 2 m/s ，按图15进行循环测试。
- 在测试过程中，记录部件温度并监视部件可能发生的开路或接地故障。

9.2.11.3 要求

最终的目测检查与功能测试均应满足要求。测试过程中没有发生间断性的开路和接地故障。

9.2.12 湿冻测试

9.2.12.1 目的

本测试的目的是确定部件承受高温高湿后的低温的能力。这不是热冲击测试。

9.2.12.2 步骤

部件将经受如图16所示的10个湿冻循环，最高温度为 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最低温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

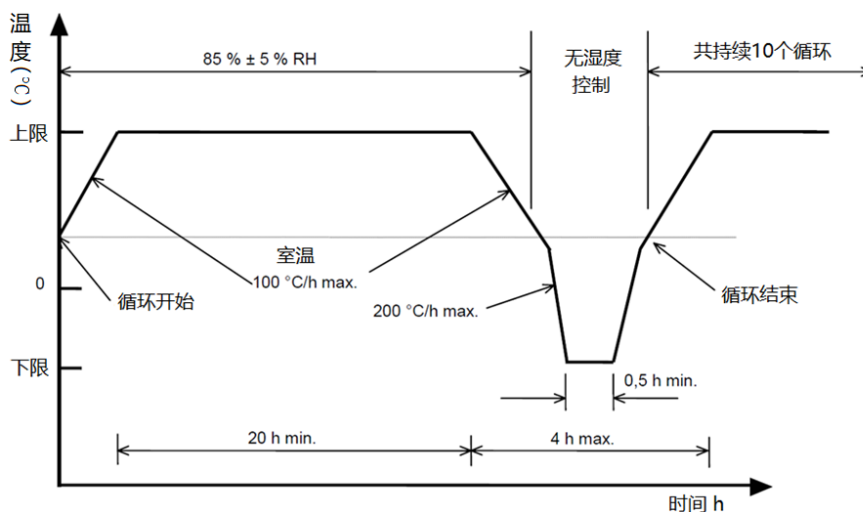


图 16. 电子部件的湿冻测试

- a) 室温下以水平方向不小于5度的安装角度将部件装入环境室中。如果机箱是电的不良导体，将部件固定于金属架上。
- b) 将温度传感器（精度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）固定于部件表面。穿过部件端子将连通性测量设备接上，将绝缘性监视器接于端子与安装支架之间。
- c) 关闭试验箱，将部件按图16开始循环测试。最高和最低温度的误差保持在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内而相对湿度的误差保持在 $\pm 5\%$ 以内。
- d) 在测试过程中，记录部件温度并监视部件可能发生的开路或接地故障。

9.2.12.3 要求

最终的目测检查与功能测试需达到要求。测试期间不应有间歇性开路和接地故障。

9.2.13 湿热测试

9.2.13.1 目的

本测试的目的是确定部件长期承受湿气渗透的能力。

9.2.13.2 步骤

部件应在温度为 $85\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $85\pm 5\%$ 的条件下经受1000h的测试。在室温下将部件装入试验箱中，且安装倾角距水平方向不小于 5° 。

9.2.13.3 要求

最终的目测检查与功能测试均应满足要求。

10 附加可选的精度计算

10.1 典型跟踪精度范围

若要进一步简化条款7.4.6“精度计算”中的8个精度值，可按以下过程计算：

“跟踪精度（典型最佳）”是低风速下方阵最小形变点的典型精度。如：根据表2所列数据，此精度为 0.4° 。这是提供“典型良好环境下最小形变点”跟踪误差的快捷方式。

“跟踪精度（典型最差）”是高风条件下方阵最大形变点的第95%精度。如：根据表2所列数据，此精度为 1.4° 。这是为指导设计提供的粗略的“最差条件误差”值的一种方式，但这并不是绝对最差情况（目的是避免个别稀有离群值的影响）。

简化的精度范围是上述两个值的组合，“典型跟踪精度：最佳~最差”。如：根据表2所列数据，精度以报告成“典型精度范围： $0.4^{\circ}\sim 1.4^{\circ}$ ”。

10.2 跟踪误差直方图

除上述方式外，可选择将指向误差绘制成直方图，显示整个测试周期中不同误差值出现的频率。如图17。

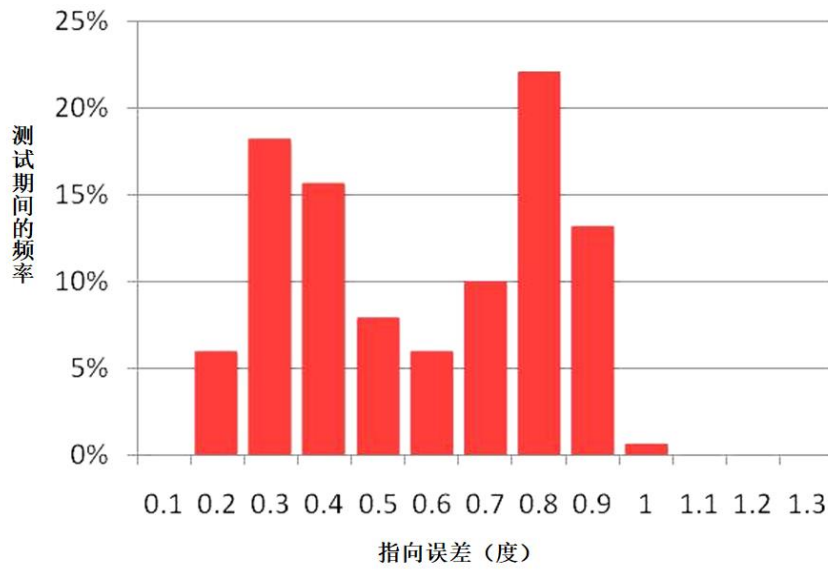


图 117. 整个测试期间指向误差的频率

10.3 指向误差对应的可用辐照百分比

可通过指向误差和DNI数据绘制图表，衡量不同DNI对应的指向误差。

按升序排列采集到的指向误差。

对于每个指向误差，对等于或低于该误差时对应的所有DNI积分（或累加总和），将结果绘制成图表，如图8。

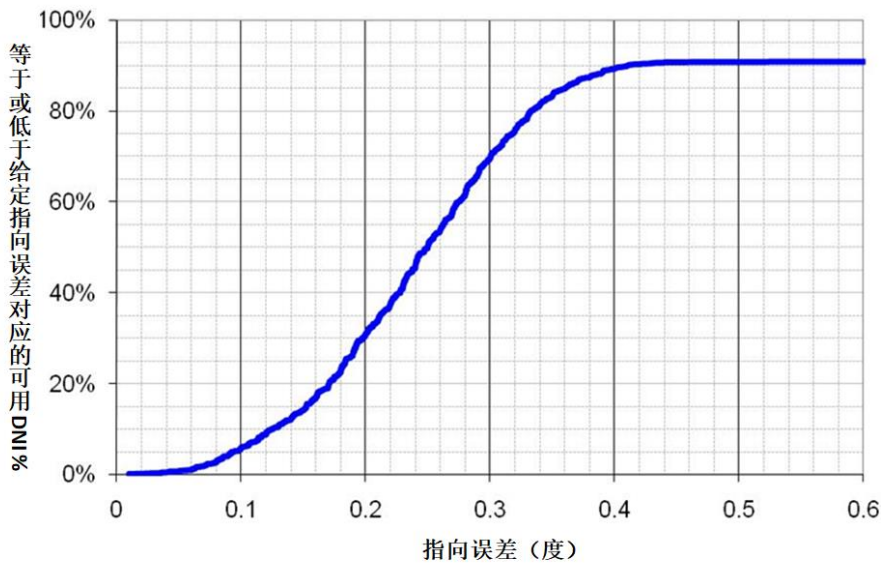


图 18. 指向误差对应的可用辐照度的函数

如有需要，也可将数据按任何感兴趣的参数分组（如：风速），按上述方法分别处理每组数据。就每组数据进行上述处理。示例见图19。

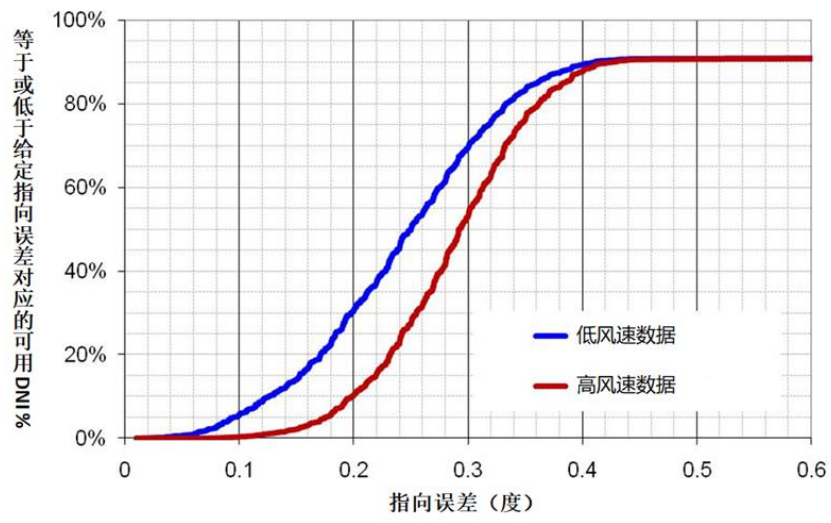


图 19. 按风速分组的指向误差对应的可用辐照度的函数