

中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJFZ（机械）XXXX-XXXX

风力发电用电缆扭转试验装置校准规范

Calibration Specification for Cable Torsion Testing Devices Used in
Wind Power Generation

（报批稿）

2025—xx—xx 发布

2025—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

风力发电用电缆扭转试验装置校准规范

Calibration Specification for Cable

Torsion Testing Devices Used in Wind

Power Generation

JJFZ (机械) XXXX—XXXX

归口单位：全国机械汽车专业计量技术委员会

主要起草单位：上海国缆检测股份有限公司

飞洲集团股份有限公司

参加起草单位：上海国缆检测股份有限公司

无锡玖开线缆科技集团有限公司

浙江万马股份有限公司

上海弈楷仪器有限公司

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

王 强（上海国缆检测股份有限公司）

邹志波（飞洲集团股份有限公司）

朱海伦（上海国缆检测股份有限公司）

参加起草人：

蒋海韬（上海国缆检测股份有限公司）

余 虎（无锡玖开线缆科技集团有限公司）

沈 浩（上海弈楷仪器有限公司）

施冠群（浙江万马股份有限公司）

目 录

引 言..... (IV)

1 范围..... (1)

2 引用文件..... (1)

3 术语和定义..... (1)

4 概述..... (2)

5 计量特性..... (3)

5.1 设备的组成..... (3)

5.2 温度控制试验箱..... (3)

5.3 扭转试验装置..... (3)

6 校准条件..... (3)

6.1 环境条件..... (3)

6.2 校准用器具..... (3)

7 校准项目和校准方法..... (3)

7.1 校准项目..... (4)

7.2 校准方法..... (4)

8 校准结果表达..... (6)

8.1 校准证书..... (6)

8.2 校准结果数据处理..... (7)

9 复校时间间隔..... (7)

附录 A..... (8)

附录 B..... (10)

附录 C..... (13)

附录 D..... (15)

附录 E..... (17)

引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

风力发电用电缆扭转试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于风力发电用电缆扭转试验装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

GB/T 29631 额定电压 1.3/3 kV 及以下风力发电用耐扭曲软电缆

GB/T 33606 额定电压 6 kV ($U_m=7.2$ kV) 到 35 kV ($U_m=40.5$ kV) 风力发电用耐扭曲软电缆

JB/T 4278.8 橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法 第 8 部分：低温试验箱

NB/T 31036 额定电压 1.8/3 kV 及以下风力发电用耐扭曲软电缆 第 3 部分：扭转试验方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

工作空间 working space

符合电线电缆试验方法标准中规定的温度偏差、用于放置试样的空间。放置试样的空间不得小于试样所占有的空间。

注：引自 JB/T 4278.1《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法 第 1 部分：总则》第 3.4 条。

3.2

温度控制试验箱顶部区域 upper section of the temperature control test chamber
电缆上夹持端往下 1m 的试验箱区域。

3.3

温度控制试验箱中部区域 middle section of the temperature control test chamber
除顶部区域外竖直悬挂电缆试样的区域。

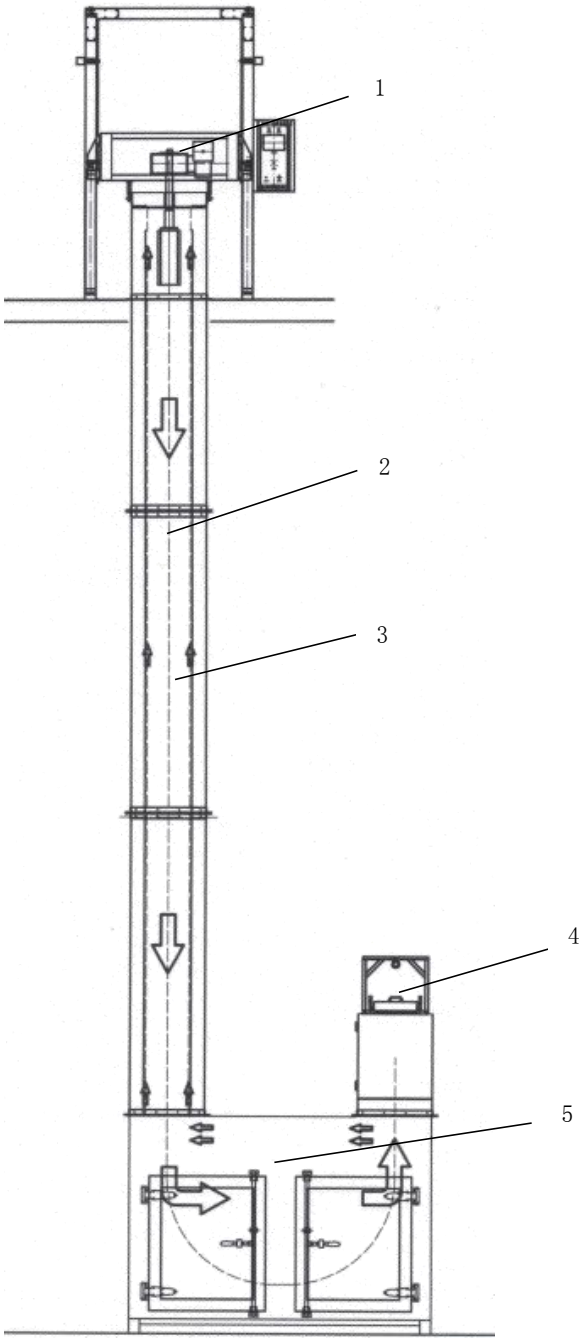
3.4

温度控制试验箱底部区域 lower section of the temperature control test chamber

温度控制试验箱中电缆试样弯曲所占的区域。

4 概述

风力发电用电缆扭转试验装置（见图 1）是风力发电用电缆在常温、低温和高温三种不同情况下进行扭转的试验装置。



说明：1——扭转试验装置（电缆上夹持端） 2——电缆试样 3——温度控制试验箱中部区域

4——下端固定支架

5——温度控制试验箱底部区域

图 1 风力发电用电缆扭转试验装置结构示意图

5 计量特性

5.1 设备的组成

风力发电用电缆扭转试验装置主要由温度控制试验箱和扭转机构组成。

5.2 温度控制试验箱

5.2.1 温度控制试验箱是在有温度要求的试验过程中对试验提供一定的温度环境,控温范围为 $-60^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。

5.2.2 温度控制试验箱的有效高度应大于 9000 mm。

5.2.3 温度控制试验箱内温度偏差不应超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

5.3 扭转试验装置

5.3.1 扭转试验装置应具有准确可靠的计数机构,断电后能保留计数。

5.3.2 扭转试验装置的转动夹具需进行正、反方向的交替旋转运动,每个方向可连续转动四圈。调速范围为每分钟 1 至 10 转,并支持在此区间内实现连续、无级调速。

5.3.3 扭转试验装置安装在距离下端固定支架 $(8\pm 1)\text{ m}$ 的位置。

5.3.4 扭转试验装置的转速不应超过设定值的 $\pm 0.5\%$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件湿度:不大于 80% RH。

6.2 校准用器具

6.2.1 激光测距仪

精度 1 mm。

6.2.2 数字温度表

测量范围至少满足 $-70^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。0.5 级,分度值 0.1°C 。最大允差 0.3°C 。

6.2.3 温度巡检仪

测量范围至少满足 $-70^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。0.5 级,分度值 0.1°C 。最大允差 0.3°C 。

6.2.4 秒表

分度值 0.1 s,日差 $\leq 0.5\text{ s}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

风力发电用电缆扭转试验装置的校准项目见表 1。

表 1 风力发电用电缆扭转试验装置的校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法
1	温度控制试验箱高度	7.2.2.1
2	扭转试验装置安装高度	7.2.2.2
3	温度控制试验箱顶部区域温度偏差	7.2.3.2
4	温度控制试验箱中部区域温度偏差	7.2.3.2
5	温度控制试验箱底部区域温度偏差	7.2.4
6	扭转试验装置转速	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 一般检查

7.2.1.1 检查风力发电用电缆扭转试验装置是否由温度控制试验箱和扭转试验装置组成。

7.2.1.2 检查温度控制试验箱的控温范围。

7.2.1.3 检查扭转试验装置应具有准确可靠的计数机构，断电后能保留计数。

7.2.1.4 检查扭转试验装置的扭转参数，包括转速范围、转速调节功能、扭转方向。

7.2.2 试验装置尺寸校准

7.2.2.1 用激光测距仪测量温度控制试验箱的高度。重复测量 3 次，取算术平均值作为测量结果。其结果应符合 5.2.2 的规定。

7.2.2.2 用激光测距仪测量扭转试验装置的安装高度。重复测量 3 次，取算术平均值作为测量结果。其结果应符合 5.3.3 的规定。

7.2.3 温度控制试验箱温度偏差校准

7.2.3.1 温度控制试验箱达到热稳定 1 h 后进行温度测量。试验箱底部区域温度测量用温度巡检仪，测量方法见 7.2.4，其结果应符合 5.2.3 的规定。

7.2.3.2 顶部区域温度和中部区域温度测量用数字温度表，测量时每隔 5 min 测量 1 次(第 0 min、5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、35 min)，完成 8 次测量，计算 8 次测量的算术平均值。8 次测量的算术平均值与设定温度作差，其结果应符合 5.2.3 的规定。

7.2.4 底部区域温度校准

7.2.4.1 由于温度控制试验箱底部区域为较大空间温度场，采用 9 点测温法。

7.2.4.2 工作空间位于底部区域试验空间的中心位置附近，其界面平行于箱内空间的界面，高度不宜小于 150 mm，长和宽应不小于 200 mm。

7.2.4.3 用温度巡检仪的 9 支热电偶测量工作空间 9 个测点的温度，1 个测点为工作空间的中心点，其余 8 个测点分别为工作空间的 8 个顶点，各测点的热电偶在底部区域试验空间内的长度不应少于 300 mm。

7.2.4.4 每隔 5 min 测量 1 次(第 0 min、5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、35 min)，完成 8 次测量。

7.2.5 底部区域温度偏差计算

7.2.5.1 计算空间温度偏差

以工作空间中心点的平均温度为基准，按公式（1）计算各测点平均温度与中心点平均温度的空间温度偏差（精确到 0.1℃）：

$$a_i = |T_i - T_0| \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

a_i ——工作空间第 i 个顶点的空间温度偏差（ $i=1\sim 8$ ），单位为摄氏度（℃）；

T_i ——工作空间第 i 个顶点的平均温度（ $i=1\sim 8$ ），单位为摄氏度（℃）；

T_0 ——工作空间中心点的平均温度，单位为摄氏度（℃）。

7.2.5.2 计算时间温度波动

按公式（2）计算工作空间 8 个顶点在 8 次测量中各自的最高温度与最低温度的差值，得工作空间时间温度波动(精确到 0.1℃)：

$$b_i = b_{imax} - b_{imin} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

b_i ——第 i 个顶点时间温度波动（ $i=1\sim 8$ ），单位为摄氏度（℃）；

b_{imax} ——第 i 个顶点最高温度（ $i=1\sim 8$ ），单位为摄氏度（℃）；

b_{imin} ——第 i 个顶点最低温度（ $i=1\sim 8$ ），单位为摄氏度（℃）；

7.2.5.3 计算温度偏差

温度偏差由空间温度偏差与时间温度波动合成，按式（3）计算温度偏差(精确到 0.1℃)：

$$\Delta T_1 = a_i + \frac{b_i}{2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ΔT_1 ——第 i 个顶点温度偏差 ($i=1\sim 8$)，单位为摄氏度 (°C)；

a_i ——第 i 个顶点空间温度偏差 ($i=1\sim 8$)，单位为摄氏度 (°C)；

b_i ——第 i 个顶点时间温度波动 ($i=1\sim 8$)，单位为摄氏度 (°C)。

7.2.6 扭转试验装置转速校准

用秒表测量扭转试验装置 10 次扭转的所需时间 t ，按式 (4) 计算转速。

$$v = \frac{10}{\frac{t}{60}} = \frac{600}{t} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

v ——扭转试验装置的转速，单位“转/分钟”；

t ——扭转试验装置的扭转时间，单位“秒”。

测量 3 次，取计算结果的算术平均值，其结果应符合 5.3.4 的规定。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果校准证书与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接受日期；
- h) 如果校准证书与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8.2 校准结果数据处理

校准结果末位应与测量不确定度的末位位数一致。由于数据修约引起的不确定度应不超过被校仪器最大允许误差绝对值的 1/10。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

高度测量结果不确定度评定示例

A.1 测量方法

用激光测距仪测量温度控制试验箱的高度。以下以测量温度控制试验箱高度的过程为例，进行测量结果不确定度的评定。

A.2 数学模型

$$\Delta H = H_a - H_s$$

式中： ΔH ——温度控制试验箱的高度误差，单位“mm”；

H_a ——温度控制试验箱的高度规定值，单位“mm”；

H_s ——温度控制试验箱的高度测量值，单位“mm”。

A.3 输入量的标准不确定度的评定

H_a 为温度控制试验箱的高度规定值，没有引入不确定度。以下为输入量 H_s 的标准不确定度 $u(H_s)$ 的评定。

输入量 H_s 的不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u(H_{s1})$ ；激光测距仪示值误差引起的标准不确定度分项 $u(H_{s2})$ 。

(1) 由重复性引入的标准不确定度分量 $u(H_{s1})$

用激光测距仪连续重复测量温度控制试验箱的高度。3 次测量值分别为 9001 mm、9002 mm、9001 mm。则温度控制试验箱高度的实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (H_{s1i} - \overline{H_{s1}})^2}{n-1}} = 0.58 \text{ mm}$$

取其平均值的实验标准差为标准不确定度，则：

$$u(H_{s1}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.33 \text{ mm}$$

(2) 由激光测距仪的示值误差引起的标准不确定度分项 $u(H_{s2})$

激光测距仪最大允许示值误差为 $\pm 2 \text{ mm}$ ，采用 B 类评定方法进行评定，服从均匀分

布, 包含因子 k 取 $\sqrt{3}$, 则为 $u(H_{s2})$ 为:

$$u(H_{s2}) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15 \text{ mm}$$

(3) 输入量 H_s 的标准不确定度 $u(H_s)$ 的计算

$$u(H_s) = \sqrt{u^2(H_{s1}) + u^2(H_{s2})} = 1.20 \text{ mm}$$

A.4 合成标准不确定度的评定

A.4.1 灵敏系数

数学模型

$$\Delta H = H_a - H_s$$

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta H}{\partial H_a} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta H}{\partial H_s} = -1$$

A.4.2 标准不确定度汇总表

表 2 高度测量标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (mm)	c_i	$ c_i u(x_i)$ (mm)
$u(H_a)$	/	/	1	/
$u(H_s)$	重复性; 激光测距仪的示值误差	1.20	-1	1.20

A.4.3 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(H_a)]^2 + [c_2 u(H_s)]^2} = 1.20 \text{ mm}$$

A.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则:

$$U = k u_c = 2.40 \text{ mm}$$

A.6 测量不确定度报告

测量结果为被测温度控制装置高度的测量结果的扩展不确定度为:

$$U = 2.40 \text{ mm}, k = 2$$

附录 B

温度控制试验箱的温度测量结果不确定度评定示例

B.1 测量方法

用数字温度表测量温度控制试验箱的温度。以下以测量温度控制试验箱温度的过程为例，进行测量结果不确定度的评定。

B.2 数学模型

$$\Delta T = T - T_0$$

式中： ΔT ——温度控制试验箱的温度误差，单位“℃”。

T ——温度控制试验箱的仪表显示值，单位“℃”。

T_0 ——数字温度表的显示值，单位“℃”。

B.3 输入量的标准不确定度的评定

B.3.1 输入量 T 的标准不确定度 $u(T)$ 的评定

输入量 $u(T)$ 的不确定度来源主要为仪表的分辨力。仪表分辨力引起的标准不确定度 $u(T)$ ，采用 B 类方法进行评定。仪表分辨力为 0.1°C ，则由仪表分辨力 b 导致的示值误差区间半宽为 $a=b/2$ ；服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ 。

$$u(T_2) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03^\circ\text{C}$$

B.3.2 输入量 T_0 的标准不确定度 $u(T_0)$ 的评定

输入量 $u(T_0)$ 的不确定度来源主要有两部分：测量重复性和数字温度表的最大允许误差。

(1) 测量重复性引起的标准不确定度 $u(T_{01})$

在 40°C 进行连续 10 次测量，得到测量列 40.1°C ， 40.2°C ， 40.1°C ， 40.2°C ， 40.3°C ， 40.3°C ， 40.2°C ， 40.2°C ， 40.1°C ， 40.3°C 。平均值为：

$$\bar{T}_0 = 40.2^\circ\text{C}$$

则温度控制试验箱温度的实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_{0i} - \bar{T}_0)^2}{n-1}} = 0.26^{\circ}\text{C}$$

取其平均值的实验标准差为标准不确定度，则：

$$u(T_{01}) = \frac{s}{\sqrt{10}} = 0.08^{\circ}\text{C}$$

(2) 由数字温度表的示值误差引起的标准不确定度分项 $u(T_{02})$

数字温度表最大允许示值误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，采用 B 类评定方法进行评定，服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，则为 $u(T_{02})$ 为：

$$u(T_{02}) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058^{\circ}\text{C}$$

(3) 输入量 T_0 的标准不确定度 $u(T_0)$ 的计算

由于 $u(T_{01})$ 和 $u(T_{02})$ 相互独立，因此，

$$u(T) = \sqrt{u(T_{01})^2 + u(T_{02})^2} = 0.10^{\circ}\text{C}$$

B.4 合成标准不确定度的评定

B.4.1 灵敏系数

数学模型

$$\Delta T = T - T_0$$

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_0} = -1$$

B.4.2 标准不确定度汇总表

表 3 温度测量标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 ($^{\circ}\text{C}$)	c_i	$ c_i u(x_i)$ ($^{\circ}\text{C}$)
$u(T)$	仪表分辨力	0.03	1	0.03
$u(T_0)$	重复性；数字温度表的最大允差	0.10	-1	0.10

B.4.3 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(T)]^2 + [c_2 u(T_0)]^2} = 0.10^\circ\text{C}$$

B.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U = k u_c = 0.2^\circ\text{C}$$

B.6 测量不确定度报告

测量结果为被测温度控制装置温度的测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.2^\circ\text{C}, \quad k = 2$$

附录 C

扭转试验装置的转速测量结果不确定度评定示例

C.1 测量方法

用秒表测量扭转试验装置的转速。以下以测量扭转试验装置转速的过程为例，进行测量结果不确定度的评定。

C.2 数学模型

$$v = \frac{600}{t}$$

式中： v ——扭转试验装置的转速，单位“r/min”；

t ——扭转试验装置的扭转时间，单位“s”。

C.3 输入量的标准不确定度的评定

由于转数的计数是人为计数，没有引入不确定度。以下为输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ 的评定。

秒表的最大示值误差引起的标准不确定度分项 $u(t)$ ，采用 B 类方法进行评定。秒表最大示值误差为 $\pm 0.01\text{s}$ ，服从均匀分布，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ 。

$$u(t) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058\text{s}$$

C.4 合成标准不确定度的评定

C.4.1 灵敏系数

数学模型

$$v = \frac{600}{t}$$

灵敏系数

$$c = \frac{\partial v}{\partial t} = 600/t^2$$

以转速为 4r/min 为例，此时 t 取 150s。

C.4.2 标准不确定度汇总表

表 4 转速测量标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c	$ c_i u(x_i)$
$u(t)$	秒表最大示值误差	0.0058s	0.027	0.0096r/min

C.4.3 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(\delta)]^2 + [c_2 u(t)]^2} = 0.0096 \text{ r/min}$$

C.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则:

$$U = k u_c = 0.0096 \text{ r/min} = 0.02 \text{ r/min}$$

C.6 测量不确定度报告

测量结果为扭转试验装置的扭转速度的测量结果的扩展不确定度为:

$$U = 0.02 \text{ r/min}, \quad k = 2$$

附录 D

原始记录内页格式（参考）

一、 一般检查：

- （1） 扭转机构能有效地夹持试样。扭转装置的运转模式能自行设定，能按设定值自动正反向交替扭转。
- （2） 计数器计数准确，断电后能保留计数。
- （3） 温度控制试验装置检查。

二、 高度校准：

温度控制试验箱的有效高度_____米。

扭转试验装置的安装高度_____米。

三、 扭转速度校准：

该设备的转速在_____r/min内可调节。设定4r/min时，实测结果为_____r/min。

四、 温度校准：高/低温工作状态：设定_____℃

底部区域空间温度（℃）：

项 目	测量数据（℃）								
	顶				中心点	底			
	前		后			前		后	
	左	右	左	右		左	右	左	右
第 1 次测量值									
第 2 次测量值									
第 3 次测量值									
第 4 次测量值									
第 5 次测量值									
第 6 次测量值									
第 7 次测量值									
第 8 次测量值									
测点空间温度偏差									
测点时间温度波动									
测点温度偏差									

其他位置点温度（℃）：

项 目	测量数据（℃）								
距底部测量点(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第 1 次测量值									
第 2 次测量值									
第 3 次测量值									
第 4 次测量值									
第 5 次测量值									
第 6 次测量值									
第 7 次测量值									
第 8 次测量值									
温度均值									
温度偏差									

附录 E

校准证书（报告）内页格式（参考）

一、 一般检查：

- （1） 扭转机构能有效地夹持试样。扭转装置的运转模式能自行设定，能按设定值自动正反向交替扭转。
- （2） 计数器计数准确，断电后能保留计数。
- （3） 温度控制试验箱控温范围符合要求。

二、 高度校准：

温度控制试验箱的有效高度_____mm。

扭转试验装置的安装高度_____mm。

三、 扭转速度校准：

该设备的转速在_____r/min内可调节。设定4r/min时，实测结果为_____r/min。

四、 温度校准：

高/低温工作状态：设定_____℃

底部区域温度偏差℃：_____

其他点温度偏差（℃）：

距底部									
测量点（m）	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度偏差									

注：（1）使用过程中如对校准仪器技术指标产生怀疑，请重新校准。

（2）下次送校时须带此证书。

（以下空白）