

T/CEC

中国电力企业联合会标准

T / CEC 113—2016

电力检测型红外成像仪校准规范

Calibration specification of electrical inspecting thermal imager

2016-10-21 发布

2017-01-01 实施

中国电力企业联合会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
7 校准项目和校准方法	2
8 校准结果表达	4
9 复校时间间隔	4
附录 A (资料性附录) 噪声等效温差 (NETD) 的测量方法	5
附录 B (资料性附录) 校准原始记录格式	6
附录 C (资料性附录) 校准证书格式	8
附录 D (资料性附录) 测量不确定度评定示例	10

前 言

本标准根据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术分技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院、国家电网公司华东分部、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：汪泉、周建国、王斯琪、金鑫、杨青、章岩、王天正、周志成、黄福勇、王安东、冯运、郭亮。

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

电力检测型红外成像仪校准规范

1 范围

本标准规定了电力检测型红外成像仪的校准条件、校准方法，以及校准结果的处理和复校时间间隔等要求。

本标准适用于具有温度测量功能的电力检测型红外成像仪（以下简称红外成像仪）在 -20°C ～ 500°C 范围内的校准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19870—2005 工业检测型红外热像仪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电力检测型红外成像仪 **electrical inspecting thermal imager**

通过红外光学系统、红外探测器及电子处理系统，将电力设备表面红外辐射转换成图像的设备。它具有测温功能，具备定量绘出电力设备表面温度分布的特点，将灰度图像进行伪彩色编码。

3.2

噪声等效温差 **noise equivalent temperature difference; NETD**

红外成像仪观察一个低空间频率的相应靶标，当其视频信号的信噪比（ S/N ）为 1 时，靶标与背景之间的等效温差。NETD 是评价红外成像仪探测目标灵敏程度和噪声大小的一个客观参数。

注：改写 GB/T 19870—2005，定义 3.3。

3.3

测温一致性 **temperature measurement uniformity**

在红外成像仪视场内其他区域与中心区域温度测量结果的一致性。

3.4

一般检测 **normal measurement**

用红外热像仪对电气设备表面温度分布进行较大面积的巡视性检测。

3.5

精确检测 **precise measurement**

用红外热像仪检测电压致热型和部分电流致热型设备的表面温度分布去发现内部缺陷，对设备故障做精确判断，也称诊断性检测。

4 概述

红外成像仪主要由红外光学系统、红外探测器、A/D 转换系统和信号处理系统等组成。通过测量物体辐射出的红外线能量，计算出被测物体的温度，再将物体的热分布转换为可视图像，并在显示器上以灰度级或伪彩色显示出来，从而得到被测目标的温度分布场。

红外成像仪特性参数包括探测器像素、镜头视角、测温范围和测温准确度等。通常红外成像仪具有修正功能，包括对被测电力设备发射率、反射率、透过率、环境温度、大气环境对被测目标热辐射衰减、环境热辐射、光学及电测系统因素的修正。

5 计量特性

5.1 外观要求

红外成像仪主机及其各种配件的壳体不应出现明显的或影响红外成像仪正常工作的损伤。红外成像仪应标明产品型号、编号等信息。

5.2 测温示值

红外成像仪工作测量温度范围内，测温示值最大允许误差应满足：

- a) 当被测温度 $t < 100^{\circ}\text{C}$ 时，示值最大允许误差应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，用绝对误差表示；
- b) 当被测温度 $t \geq 100^{\circ}\text{C}$ 时，示值最大允许误差应不超过 $\pm 2\%$ 读数，用相对误差表示。

5.3 测温一致性

测温一致性的值应满足：

- a) 一般检测：不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$)；
- b) 精确检测：不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$)。

5.4 连续稳定工作时间

在满足 5.2 的前提下，红外成像仪连续稳定工作 2h，其示值变化量应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 2\%$ 读数（取绝对值大者）。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准时实验室的环境条件应满足以下要求：

- 环境温度：(23 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ ；
- 相对湿度：(40%~80%) RH；
- 校准环境应无强热辐射源。

6.2 校准时使用的标准装置

6.2.1 标准辐射源

标准辐射源的温度范围应能满足被校红外成像仪的校准要求。标准辐射源技术要求见表 1。

表 1 标准辐射源技术要求

标准辐射源种类	温度涵盖范围	靶面有效发射率/ 空腔有效发射率	温度准确度 /最大允许误差	温度稳定性
面辐射源	$-20^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$	0.97 ± 0.02	$\pm 0.5^{\circ}\text{C} / \pm 0.5\%$ 读数	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
腔式黑体辐射源	$-20^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$	0.99 ± 0.01	$\pm 0.5^{\circ}\text{C} / \pm 0.5\%$ 读数	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目表

序号	校准项目名称	校准方法条款号
1	测温示值误差	7.2.3

表 2（续）

序号	校准项目名称	校准方法条款号
2	测温一致性	7.2.4
3	连续稳定工作时间	7.2.5
注：可根据需要对红外成像仪噪声等效温差 NETD 进行校准，所需标准装置及测量方法参见附录 A。		

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的准备工作

采用手动、目视方式检查被校红外成像仪主机及显示器件，结果应满足 5.1 的要求。被校红外成像仪的镜头中心应面向标准辐射源中心，并处于同一水平位置。为使被测目标清晰成像，可安装附加光学镜头或衰减片等光学元件。红外成像仪与标准辐射源之间的校准距离建议为 2m。

7.2.2 校准温度点选择

校准温度点应涵盖被校红外成像仪测量范围，温度校准点除覆盖测量上限和下限外，至少应包括 0℃、50℃、100℃、150℃、200℃、350℃等校准点。

7.2.3 测温示值误差

将被校红外成像仪置于温度测量模式，测量标准辐射源目标中心温度。标准辐射源按照 7.2.2 的要求设定温度校准点。被校红外成像仪进行测量时，应在标准辐射源温度值稳定后读取标准辐射源温度值 t_1 和被校红外成像仪示值 t_2 ，并按式（1）或式（2）计算示值误差。校准结果应满足 5.2 的要求。

当 $t_1 < 100^\circ\text{C}$ 时，按式（1）计算：

$$\Delta\theta_1 = t_2 - t_1 \quad (1)$$

当 $t_2 \geq 100^\circ\text{C}$ 时，按式（2）计算：

$$\Delta\theta_2 = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\Delta\theta_1$ ——示值误差（按绝对方式表示）；

$\Delta\theta_2$ ——用百分数表示的示值误差（按相对误差表示）；

t_1 ——标准辐射源温度值，℃；

t_2 ——被校红外成像仪示值，℃。

7.2.4 测温一致性

使用面辐射源进行测温一致性实验时，设定辐射源温度为 50℃。如图 1 所示，将被校红外成像仪显示器画面等分为 9 个区域，在 9 个区域的中心点分别标记。

1	2	3
4	5	6
7	8	9

图 1 测温一致性实验测温点分布

测量时，调整红外成像仪或面辐射源位置，使其辐射面能够完全覆盖红外成像仪视场并使面辐射源清晰成像。将红外成像仪发射率参数设置为面辐射源发射率，分别测量并记录标记点温度 t_m 和 t_{r5} ，测量顺序如下：5→n→5（ $n=1, 2, \dots, 9, n \neq 5$ ）。按式（3）计算被校红外成像仪测温一致性的值 ϕ_n 。校准结果应满足 5.3 的要求。

$$\phi_n = t_m - t_{r5} (n=1, 2, \dots, 9, n \neq 5) \quad (3)$$

式中:

ϕ_n ——被校红外成像仪测温一致性;

t_m ——在第 n 个标记点, 被校红外成像仪示值的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{r5} ——第 5 个标记点被校红外成像仪示值, $^{\circ}\text{C}$ 。

注: 在不使用面辐射源的情况下, 可使用腔式黑体辐射源进行测温一致性校准。

7.2.5 连续稳定工作时间

设定标准辐射源的温度为 50°C , 红外成像仪对标准辐射源连续测量 2h。每 15min 记录一次红外成像仪示值 t_{sn} ($n=1, 2, \dots, 7, 8$), 并按式 (4) 计算被校红外成像仪测量结果 α_n ($n=1, 2, \dots, 7, 8$)。校准结果应满足 5.4 的要求。

$$\alpha_n = t_{sn} - t_{s0} \quad (n=1, 2, \dots, 7, 8) \quad (4)$$

式中:

α_n ——被校红外成像仪稳定性测量值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{s0} ——首次记录的被校红外成像仪示值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{sn} ——在 t_{s0} 后每隔 15min 记录的被校红外成像仪示值, $^{\circ}\text{C}$ 。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

测量结果扩展不确定度的末位与校准结果末位应对齐。

8.2 校准证书

校准结果应在校准证书(报告)上反映, 校准证书(报告)应至少包括以下信息:

- a) 标题, 如“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) 证书或报告的唯一性标识(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, 如果与校准结果的有效性有关, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 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声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明;
- q) 校准证书的有效性说明。

校准原始记录格式参见附录 B, 校准证书(报告)内页格式参见附录 C, 测量不确定度评定参见附录 D。

9 复校时间间隔

复校时间间隔宜为 1 年。

附录 A (资料性附录)

噪声等效温差 (NETD) 的测量方法

A.1 所需标准装置

噪声等效温差 (NETD) 主要测量设备为标准温差黑体, 辅助设备主要包括光学平台、准直光管、靶标切换系统、高分辨率监视器、计算机及信号采集处理系统等。其中标准温差黑体技术参数要求参见表 A.1。

表 A.1 标准温差黑体技术参数要求

辐射源种类	温度范围	靶面有效发射率	温度均匀性	测温允许误差
标准温差黑体	-25℃~100℃	>0.95	±0.01℃	±0.03℃

A.2 测量方法

采用相应的标靶进行 NETD 测量, 调节标准差分黑体源的温差设置 ($\Delta T=2\text{K}$), 目标图像占被校红外成像仪全视场 2/3 以上, 并使红外成像仪对标准差分黑体源测量。

在相同的增益、电平及背景温度条件下, 通过图像采集卡及下位机等硬件对红外成像仪生成的数字图像进行处理。由温差值 ΔT 及其对应灰度值信号 V_{G} 通过最小二乘法拟合出红外成像仪的信号传递函数 S_{TF} ; 再在校准范围内每隔 10℃ 取一个校准点采集 100 帧图像, 计算出三维噪声均方根 V_{RMS} 。

由式 (A.1) 计算出被校红外成像仪的 NETD 值:

$$N_{\text{NETD}} = \frac{\Delta T}{S/N} = \frac{\Delta T \times V_{\text{RMS}}}{V_{\text{S}}} = \frac{V_{\text{RMS}}}{S_{\text{TF}}} \quad (\text{A.1})$$

式中:

ΔT ——设定的目标与背景之间温差, K;

S/N ——被校红外成像仪信噪比, dB;

V_{RMS} ——噪声信号均方根;

S_{TF} ——被校红外成像仪的信号传递函数。

附 录 B
(资料性附录)
校准原始记录格式

B.1 原始记录格式见表 B.1

表 B.1 原始记录格式

试品参数	示值最大允许误差：				
	测温范围：				
	发射率设置：				
校准时使用的标准器					
名称	型号	出厂编号	准确度/不确定度/ 最大允许误差	证书编号	证书 有效期
主要校准依据					
项目及名称					
校准地点			校准时间		
温度（℃）			相对湿度（%）		
校准项目：外观检查					
标识是否齐全	齐全 ☐ 不齐全 ☐				
试品状态	正常 ☐ 不正常 ☐				
校准项目：基本误差测量					
校准结果	见附表				
校准 结论及说明	试品校准结果扩展不确定度为 $U=$, 包含因子 $k=$ 建议下次校准时间在 年 月 日之前。				

校准项目 1：示值误差试验

试品量程 1：

标准值 (°C)	试品示值平均值 (°C)	示值误差

校准项目 2：测温一致性试验

辐射源标准温度：		测温一致性测温点分布		
标记点编号	测温一致性 (°C)			
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
		1	2	3
		4	5	6
		7	8	9

校准项目 3：连续工作稳定试验

标准值 (°C)	试品示值 (°C)	稳定性误差 (°C)
50	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
	6.	
	7.	
	8.	

附 录 C
(资料性附录)
校 准 证 书 格 式

C.1 校准证书内页格式 (第 2 页)

证书编号××××××-××××

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
校准所依据的技术文件 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准 证书编号	证书有效期至

- 注:
- 1. ×××××仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。
 - 2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
 - 3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

C.2 校准证书校准结果页格式（第 3 页）

证书编号××××××-××××

校 准 结 果

校准项目 1：示值误差试验

试品量程 1：

标准值（℃）	试品示值平均值（℃）	示值误差	测量不确定度

校准项目 2：测温一致性试验

辐射源标准温度：			测温一致性测温点分布		
标记点编号	测温一致性（℃）	测量不确定度			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
			1	2	3
			4	5	6
			7	8	9

校准项目 3：连续工作稳定试验

标准值（℃）	试品示值（℃）	稳定性误差（℃）	测量不确定度
50	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	6.		
	7.		
	8.		

敬告：

1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。
2. 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。

校准员：

核验员：

第×页共×页

附录 D
(资料性附录)
测量不确定度评定示例

D.1 校准方法

被校红外成像仪的镜头中心应面向标准辐射源中心，并处于同一水平位置。为使被测目标清晰成像，可安装附加光学镜头或衰减片等光学元件。根据对高压侧电力设备测温需在安全距离以外的要求，可调整红外成像仪位置与标准辐射源之间的工作距离，工作距离建议为 2m（见图 D.1）。

测量前将红外成像仪预先开机 15min 并完成示值清零等预操作。被校红外成像仪发射率参数设置为 1 或等于黑体辐射源发射率。

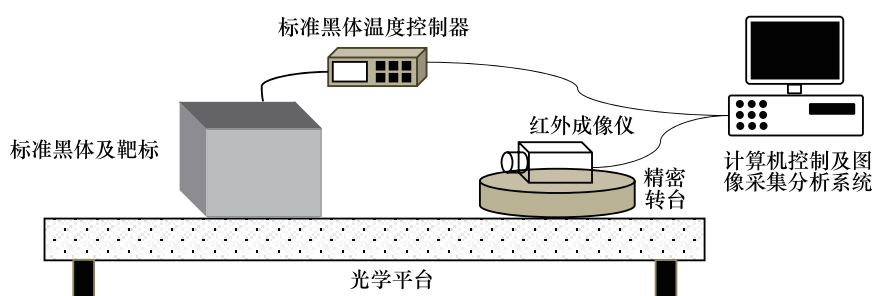


图 D.1 红外成像仪校准接线示意图

D.2 红外成像仪示值误差

红外成像仪示值误差的校准采用面标准辐射源进行。

当 $t_2 < 100^\circ\text{C}$ 时，按式 (D.1) 计算：

$$\Delta\theta_1 = t_2 - t_1 \quad (\text{D.1})$$

当 $t_2 \geq 100^\circ\text{C}$ 时，按式 (D.2) 计算：

$$\Delta\theta_2 = (t_2 - t_1) / t_1 \quad (\text{D.2})$$

式中：

$\Delta\theta_1$ —— 示值误差（按绝对方式表示）；

$\Delta\theta_2$ —— 相对示值误差；

t_1 —— 参考值（标准黑体温度）， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 —— 被校准红外成像仪示值， $^\circ\text{C}$ 。

D.3 各输入量的标准不确定度来源与评定**D.3.1 校准结果不确定度来源**

校准结果不确定度来源主要包括：

- a) 由校准重复性引入的标准不确定度 u_A ，采用 A 类方法评定；
- b) 由标准辐射源误差引入的不确定度 u_{B1} ，采用 B 类方法评定；
- c) 由标准辐射源发射率修正引入的标准不确定度 u_{B2} ，采用 B 类方法评定；
- d) 由被校红外成像仪示值分辨力引入的标准不确定度 u_{B3} ，采用 B 类方法评定。

D.3.2 校准重复性引入的标准不确定度 u_A

输入量 u_A 的标准不确定度主要是对红外成像仪校准重复性通过连续校准得到。

对给定的标准温度为 100°C ，在重复性条件下各独立校准 10 次，得到一组数据（见表 D.1）。

表 D.1 重复性校准数据

序号	参考值 (°C)	校准值 (°C)	偏差 (°C)
1	100.00	100.0	0
2	100.00	100.0	0
3	100.00	100.0	0
4	100.00	100.0	0.1
5	100.00	100.1	0.1
6	100.00	100.0	0
7	100.00	100.0	0
8	100.00	100.0	0
9	100.00	100.0	0
10	100.00	100.1	0.1
平均值	—	100.12	—
标准偏差	—	0.048	—

重复性引入的标准不确定度 u_A 按式 (D.3) 计算:

$$u_A = S_{(f)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 0.048^\circ\text{C} \quad (\text{D.3})$$

式中:

$S_{(f)}$ —— 单次实验标准差;

R_i —— 试品单次校准的温度值, °C;

$\bar{R}$ —— 试品 10 次校准的温度平均值, °C。

D.3.3 由标准辐射源误差引入的不确定度 u_{B1}

由上级计量进行校准的面标准辐射源的准确度在 100°C , 发射率为 0.95 时, 其示值误差为 0.1°C , 考虑上级计量机构给定的测量不确定度为 $U=0.5^\circ\text{C}$ ($k=2$), 因此将其误差放宽到 0.2°C , 在区间内服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$; 信号发生器输出稳定性引入的不确定度分量为:

$$u_{B1} = 0.2^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.12^\circ\text{C}$$

D.3.4 由标准辐射源发射率修正引入的标准不确定度 u_{B2}

在校准温度为 100°C 时, 标准辐射源发射率范围为 0.97 ± 0.02 , 以标准辐射源发射率等于 0.97 为参考值, 对被校红外成像仪的示值受辐射源发射率为 1 的偏离影响进行修正, 辐射源发射率的不确定度 0.02 引起的标准辐射源辐射温度不确定度为 0.1°C , 在区间内服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 标准辐射源发射率修正引入的标准不确定度分量为:

$$u_{B2} = 0.1^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.058^\circ\text{C}$$

D.3.5 由被校红外成像仪示值分辨力引入的标准不确定度 u_{B3}

被校红外成像仪在校准 100°C 时的检测示值分辨力为 0.1°C , 在区间内服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$ 。分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_{B3} = 0.1^\circ\text{C} / 2 / \sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C}$$

D.4 灵敏系数 $C_{(xi)}$

u_A 和 u_{BX} 的几个分量互不相关, 因此默认 $C_{(xi)}=1$ 。

D.5 合成标准不确定度

不确定度分量汇总表见表 D.2。

表 D.2 不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量来源	符号	不确定度分量值 (℃)
1	重复性	u_A	0.048
2	标准辐射源误差	u_{B1}	0.126
3	标准辐射源发射率修正	u_{B2}	0.058
4	被校红外成像仪示值分辨力	u_{B3}	0.029

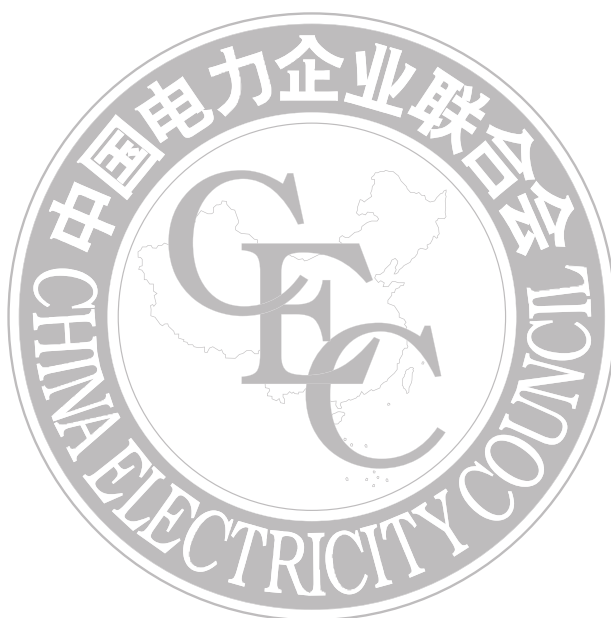
合成标准不确定度为：

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + \sum u_{Bi}^2} = 0.16^\circ\text{C}$$

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，采用标准辐射源对红外成像仪校准，其扩展测量不确定度为：

$$U = k u_C = 2 \times 0.16^\circ\text{C} = 0.32^\circ\text{C} \quad (k=2)$$



中国电力企业联合会标准
电力检测型红外成像仪校准规范

T / CEC 113—2016

*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2016年10月第一版 2016年10月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1印张 26千字

*

统一书号 155123·3363 定价 9.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

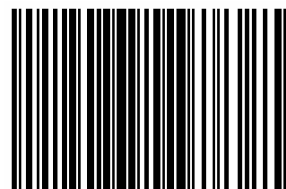
版权专有 翻印必究



中电联微信公众号



中国电力出版社官方微信



155123.3363