

JJF (浙)

浙江省地方计量技术规范

JJF (浙) 1180—2021

光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范

Calibration Specification for Electroluminescence Defect Detection
System for Solar Module

2021-08-03 发布

2021-11-03 实施

浙江省市场监督管理局 发布

JJF(浙)1180—2021

光伏组件电致发光缺陷 检测仪校准规范

JJF(浙)1180—2021

Calibration Specification for Electroluminescence

Defect Detection System for Solar Module

归口单位：浙江省市场监督管理局

主要起草单位：台州市计量技术研究院

参加起草单位：台州市计量设备技术校准中心

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

徐 欣（台州市计量技术研究院）

梁 林（台州市计量技术研究院）

张 锋（台州市计量技术研究院）

参加起草人：

潘万苗（台州市计量技术研究院）

陈 康（台州市计量设备技术校准中心）

陈 岚（台州市计量设备技术校准中心）

李岳求（台州市计量设备技术校准中心）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语及计量单位	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 空间分辨率	(2)
5.2 正向电流	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准和其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准前检查	(3)
7.2 空间分辨率	(3)
7.3 正向电流	(5)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 原始记录参考格式	(7)
附录 B 校准证书内页参考格式	(8)
附录 C 空间分辨率测试板参考样式	(9)
附录 D 空间分辨率测量结果的不确定度评定示例	(10)
附录 E 正向电流测量结果的不确定度评定示例	(12)

引 言

本规范依据 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》的规定编写。使用本规范时，引用文件的最新版本（包括所有的修改草案）适用于本规范。

本规范为浙江省内首次制定。

光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于光伏组件用电致发光缺陷检测仪的校准。

2 引用文件

GB/T 19953 数码照相机分辨率的测量

GB/T 20733 数码照相机 术语

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规则。凡是不注日期的应用文件，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

本规范使用下列术语和计量单位。

3.1 电致发光 electroluminescence (EL)

是在一定电场作用下，材料被电能激发所产生的发光现象。

3.2 光伏组件缺陷 solar module defect

通过电致发光作用，在光伏组件中观察到的对组件性能造成不良影响的特征，通常有黑心、黑边、亮斑、裂纹、断栅等。

3.3 线对 line pairs

排列在一起的具有相等宽度的黑白条纹。

3.4 空间分辨率 spatial resolution

表示数字图像拍摄系统或数字图像拍摄系统组件分辨空间图像细节能力的度量。

3.5 线对每毫米 line pairs per millimeter

lp/mm

采用能分辨的每毫米等间隔黑白线对数来表示分辨能力(如视觉分辨率和极限分辨率)的度量单位，线对每毫米的测量值用 R_s 表示。

3.6 空间分辨率测试板 spatial resolution test board

一种载有为测试成像系统的空间分辨率而规定的测试图配置的样板。

3.7 正向电流 forward current

A

表示从光伏组件正极流向负极的直流电流。

4 概述

光伏组件电致发光缺陷检测仪（以下简称缺陷检测仪）常用于光伏组件生产企业和光伏系统检测机构，利用电致发光原理，通过向光伏组件提供正向电流，使组件产生电致发光现象，并使用红外相机对光伏组件的缺陷进行检测。缺陷检测仪主要由直流电源、单晶/多晶组件、成像系统、测试箱体、图像处理系统等组成。典型原理如图1所示：

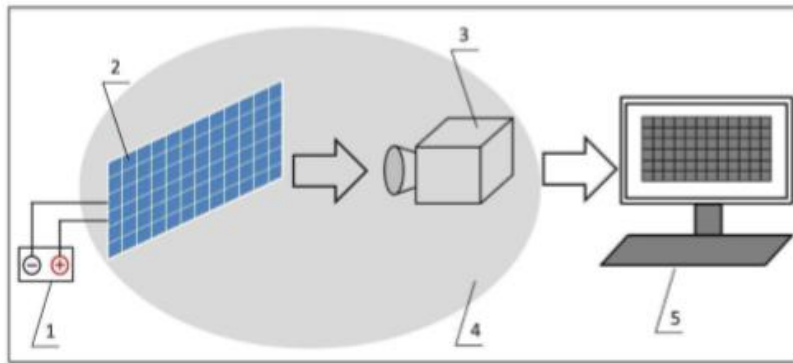


图1 1直流电源 2单晶/多晶组件 3成像系统 4测试箱体 5图像处理系统

5 计量特性

缺陷检测仪计量特性包括：空间分辨率、正向电流。

5.1 空间分辨率

空间分辨率是缺陷检测仪对被检测光伏组件的细节分辨能力，一般按照线对每毫米的测量值来划分等级。进行空间分辨率测试的图案通常可以采用连续排列的线对。

缺陷检测仪的空间分辨率测量值的范围为（0.25~2.00）mm。

按照线对每毫米的测量值将空间分辨率分为A+、A、B、C共4个等级。等级分级如表1。

表1空间分辨率等级

等级	空间分辨率 (lp/mm)
A+	$R_s \geq 1.00$
A	$0.50 \leq R_s < 1.00$
B	$0.25 \leq R_s < 0.50$
C	$R_s < 0.25$

5.2 正向电流

正向电流应覆盖铭牌标识的正向电流测量范围，最大允许误差不超过±5%。

注：校准规范不作指标限定的要求，指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(25±5)℃；

相对湿度：不大于85%RH；

6.2 测量标准和其他设备

6.2.1 空间分辨率测试板

空间分辨率测试板采用不同粗细具有相同宽度的黑白条纹（遮光条纹和透光条纹）作为检测图案。空间分辨率测试板上的线对至少具有横向和纵向两种排布方式，每种方式至少有18组的线对，线对中单个条纹宽度范围为(0.25~2.00)mm，与标称值的示值误差均不超过±0.02mm。测试板宜为厚度约0.1mm，面积在(156mm×156mm~210mm×210mm)之间的薄片，空间分辨率测试板参考标准样式见附录C。

6.2.2 直流电流表

电流测量范围应覆盖被测对象的正向电流测量范围，最大允许误差优于±1%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前检查

缺陷检测仪的铭牌标识应清晰、完整，应至少包括名称、型号、生产厂商、分辨率或像素点和电流范围等内容。

缺陷检测仪成像系统零部件应清洁，无裂痕、发暗、霉斑、脱胶、开胶、脱膜等瑕疵，也不可有气泡、条纹、沙眼、斑点、污迹、尘埃、灰雾状瑕疵及其他明显瑕疵，镜头表面的镀膜应牢固均匀，无明显的擦伤现象，镀(涂)层不允许产生导致画面密度差或灰雾的内反射。

7.2 空间分辨率

将缺陷检测仪电源输出端子的正负极分别与组件连接端子的正负极对应连接，然后打开并调整电源输出电流和电压，再使用空间分辨率测试板进行校准。

将空间分辨率测试板粘贴在光伏组件的中心位置电池上以及边角位置的电池上，粘贴时用手拿取测试板的边缘部分，将图案的四个角与一个电池的四个角对齐，再用双面胶或者胶带将测试板平整地粘贴在组件上。粘贴空间分辨率测试板时应当在组件中心位置以及4个边缘角落位置各粘贴一张，总计5张。若使用一张空间分辨率测试板，则可以对同一个组件分多次粘贴并成像。粘贴位置示意图如图2所示。

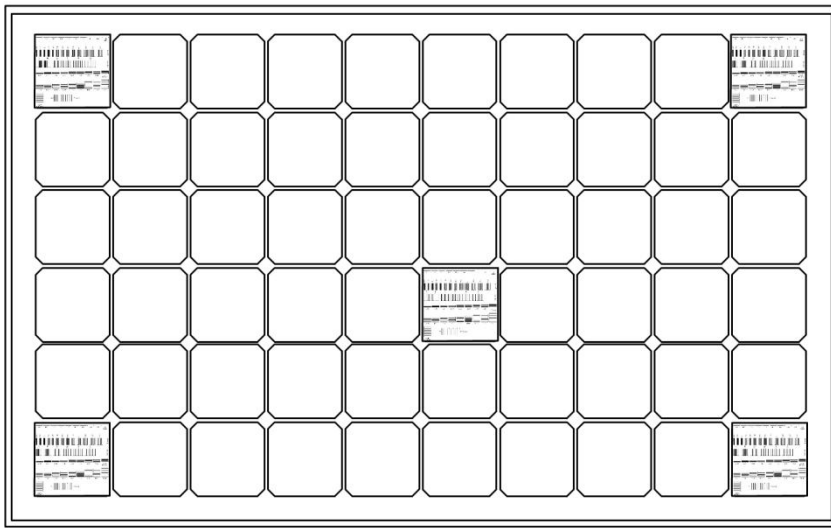


图2 空间分辨率测试板粘贴位置示意图

空间分辨率测试板的分辨率测试图案为连续排列的相同方向与宽度的黑白条纹线对，如图3所示，图中 d 为单个条纹宽度，相邻的黑色、白色条纹组成一个线对。线对组采用等比数列排列，比例系数为 $10^{0.05}$ ，范围为 $(0.25\sim 2.00)$ lp/mm。表2为空间分辨率测试板推荐的线对组成，其中空间分辨率与条纹宽度对应关系如式1。

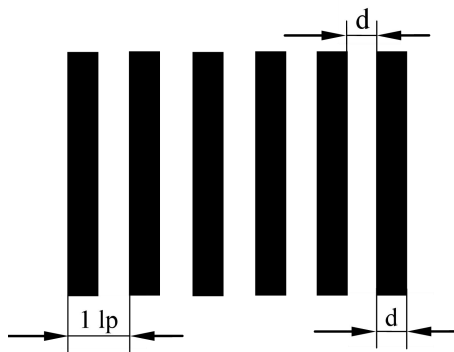


图3 线对条纹示意图

表2 空间分辨率测试板推荐的线对组成

lp/mm	0.25	0.28	0.32	0.35	0.40	0.45	0.50	0.56	0.63	0.71
d(mm)	1.99	1.77	1.58	1.41	1.25	1.12	1.00	0.89	0.79	0.70
lp/mm	0.79	0.89	1.00	1.14	1.25	1.43	1.61	1.79	2.00	
d(mm)	0.63	0.56	0.50	0.44	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	

$$R_s = \frac{1}{2 \times d} \quad (1)$$

将粘贴有测试板的组件进行检测，获取检测原始图像。获取原始图像后，采用软件对原始图像进行缩放操作，以满足人眼的最佳观察条件和目视检测需求。采取目视方法，当条纹图案中有两条以上的线不粘合在一起视为能够分辨，检查组件EL图像中相应测试板的成像情况，根据目视能够分辨的最小条纹记录相应的五个被测位置的空间分辨率能力。

根据五个不同位置的被测分辨力测试结果，取其中数值最大的作为缺陷检测仪的空间分辨率结果：

$$D = \max\{d_i\}, i \in [1, 2, \dots, 5] \quad (2)$$

式中： d_i ——测试板在第*i*个位置时，缺陷检测仪能够分辨的最小条纹宽度，mm

也可根据客户的需求，由公式(1)计算出相应的EL空间分辨率，并参照表1将不同的缺陷检测仪分为A+、A、B、C共4个等级。

7.3 正向电流

断开直流电源的输出端与光伏组件的连接，将直流电流表与直流电源的输出端正负极相连，设置EL检测仪控制软件，使得直流电源能够持续输出电流，等待数值稳定后，开始读取直流电流表上的电流值，同时记录被测缺陷检测仪示值。一般校准正向电流的10%、50%和100%量程值点，也可按照客户要求选择校准点，正向电流相对误差为：

$$\delta_I = \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中： δ_I ——正向电流相对误差，%

I ——被检缺陷检测仪电流示值，A

I_o ——直流电流表测得的电流值，A

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书(报告)上反映，校准证书(报告)应至少包含以下信息：

- 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) 被校准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和应用有关时，应说明被校准对象的接受日期；
- h) 如果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) 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) 校准证书或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的有效性的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议仪器复校时间间隔最长不超过 1 年。

附录 A

原始记录参考格式

记录编号:

委托单位:	地址:
器具名称:	型号/规格:
出厂编号:	制造厂:
准确度:	

校准所使用的技术依据:

技术依据	
------	--

校准所使用的主要计量器具:

名称	型号/规格	最大允许误差/不确定度/准确度等级	仪器编号	证书编号	有效期

校准地点、环境条件

地点:	温度:	℃	相对湿度:	%
-----	-----	---	-------	---

A.1 外观检查:

A.2 空间分辨率

测试板位置	角 1	角 2	角 3	角 4	中心	最大值
竖直线对条纹最小目视可分辨线对单条纹宽度(mm)						
水平线对条纹最小目视可分辨线对单条纹宽度(mm)						
空间分辨率	竖直方向/mm			水平方向/mm		
扩展不确定度						

A.3 正向电流

示值(A)	实测值(A)	误差(%)	扩展不确定度

以下空白

校准员:

核验员:

校准日期:

附录 B

校准证书内页参考格式

B.1 外观检查:

B.2 空间分辨率

空间分辨率测试结果		扩展不确定度
竖直方向/mm		
水平方向/mm		

B.3 正向电流

示值(A)	实测值(A)	误差(%)	扩展不确定度

附录 C

空间分辨率测试板参考标准样式

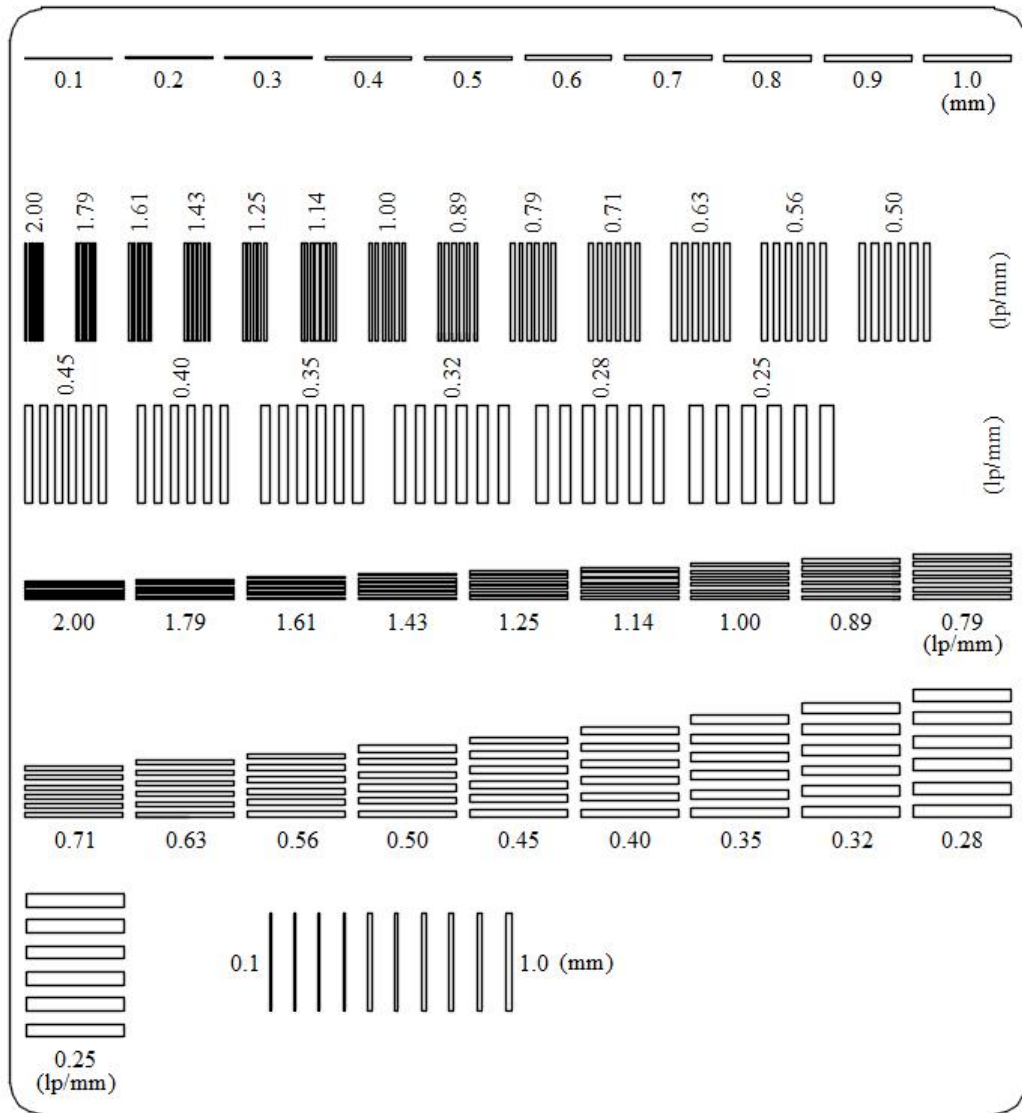


图 C1 空间分辨率测试板参考标准样式

附录 D

空间分辨率测量结果的不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 测量依据:JJF(浙)XXXX—2021《光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范》

D.1.2 测量环境条件:温度(25±5)℃;相对湿度不大于85%RH。

D.1.3 测量用标准器:空间分辨率测试板。

D.1.4 测量对象:缺陷检测仪。

D.2 测量模型

D.2.1 公式

$$D = \max\{d_i\}, i \in [1, 2, \dots, 5]$$

D.2.2 不确定度来源包括:空间分辨率测量重复性引起的不确定度,空间分辨率测试板引起的不确定度,人眼判断引起的不确定度等。

D.3 标准不确定度

D.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

用空间分辨率测试板对典型的缺陷检测仪在稳定的外部温湿度和光照环境下进行重复测量,再根据目视结果,记录每次测量的空间分辨率结果。测量结果如表 D1 所示:

表 D1 测量重复性引入的不确定度

	最小目视可分辨线对条纹宽度(mm)
X_1	0.63
X_2	0.63
X_3	0.56
X_4	0.63
X_5	0.63
X_6	0.56
X_7	0.63
X_8	0.56
X_9	0.63
X_{10}	0.63
\bar{X}	0.61
实验标准偏差 $s(X)$	0.03

则由测量重复性引入的不确定度 u_1 为:

$$u_1 = s(X) = 0.03\text{mm}$$

D.3.2 空间分辨率测试板校准结果不确定度 u_2

对于空间分辨率测试板, 根据校准证书提供的数据可知, 其条纹宽度测量结果不确定度为: $U=0.01\text{mm}$, $k=2$ 。

则由空间分辨率测试板引入的标准不确定度为 $u_2=0.005\text{mm}$ 。

D.3.3 人眼判断引入的不确定度 u_3

人眼的分辨极限角通常为 1 角分, 则根据约 25Dm 的目视距离, 可分辨的最小线距约 0.1mm。另外根据光学系统光学传递函数测量理论, 正常人眼能够分辨的调制度最低值一般是 0.05, 此时的对比度约为 1:1.1 左右, 且每个人之间存在差异, 因此, 对于 (0.5~2.0)lp/mm 的图案, 由于人眼判断引入的判断误差约为 0.1mm, 假设为均匀分布, 则人眼判断引入的不确定度 $u_3=0.058\text{mm}$ 。

D.4 合成标准不确定度

D.4.1 标准不确定度分量一览表

表 D2 合成标准不确定度汇总表

不确定度分量 u_i	类别	u_i 来源	u_i 的数值
u_1	A	测量重复性	0.03
u_2	B	空间分辨率测试板校准结果	0.005
u_3	B	人眼判断	0.058

D.4.2 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.065\text{mm}$$

D.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 在空间分辨率 (0.5~1.0)mm 范围内, 缺陷检测仪空间分辨率的校准结果扩展不确定度 $U=0.065 \times 2=0.13\text{mm}$, $k=2$

附录 E

正向电流测量结果的不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 测量依据：JJF(浙)XXXX—2021《光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范》。

E.1.2 测量环境条件：温度（25±5）℃；相对湿度不大于 85%RH。

E.1.3 测量用标准器：直流电流表，准确度等级 0.1 级。

E.1.4 测量对象：缺陷检测仪。

E.2 测量模型

E.2.1 公式

$$\delta_I = \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) \times 100\%$$

式中： δ_I ——正向电流相对误差，%

I ——被测缺陷检测仪电流示值，A

I_0 ——直流电流表测得的电流值，A

E.2.2 不确定度来源包括：测量重复性引入的不确定度，标准器引起的不确定度。

E.3 标准不确定度

E.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u_{\text{rel}}(\delta_I)$

断开直流电源输出端与光伏组件的连接，将直流电流表与直流电源的输出端正负极相连，设置缺陷检测仪控制软件，使得直流电源能够持续输出电流，读取直流电流表上的电流值，并做记录。重复测量结果如表 E1 所示：

表 E1 测量重复性引入的不确定度

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (A)	8.01	7.99	7.98	8.01	8.00	7.98	7.98	8.01	7.99	8.02
平均值 (\bar{I})	8.01									
实验标准偏差 $s(I)$	0.015									

则由测量重复性导致的测量结果的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(\delta_1) = \frac{s(I)}{\bar{I}} = 0.19\%$$

E. 3.2 由标准器引入的不确定度 $u_{\text{rel}}(\delta_2)$

根据测量正向电流的直流电流表的技术要求为 0.1%，则由直流电流表引入的相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=0.1\%$ ， $k=2$ 。

则由直流电流表引入的相对标准不确定度为： $u_{\text{rel}}(\delta_2)=0.05\%$ 。

E. 4 合成标准不确定度

E. 4.1 标准不确定度分量一览表

表 E2 合成标准不确定度汇总表

不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\delta_i)$	$u_{\text{rel}}(\delta_i)$ 来源	$u_{\text{rel}}(\delta_i)$ 的数值
$u_{\text{rel}}(\delta_1)$	测量重复性	0.19%
$u_{\text{rel}}(\delta_2)$	标准器引入的不确定度	0.05%

E. 4.2 合成标准不确定度计算

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\delta_1) + u_{\text{rel}}^2(\delta_2)} = 0.2\%$$

E. 5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则电致发光缺陷检测仪正向电流校准结果的相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}}=0.2\% \times 2=0.4\%, \quad k=2。$$