



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 36979—2018

---

## LED 产品空间颜色分布测量方法

Measuring method of spatial distribution of  
color characteristics for LED products

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 ..... I

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 颜色的表示 ..... 2

    4.1 色度参数 ..... 2

    4.2 空间色度分布 ..... 3

    4.3 空间平均色度参数 ..... 3

    4.4 空间颜色非均匀性 ..... 3

    4.5 标准光色和色容差范围 ..... 3

5 测量条件 ..... 4

    5.1 实验室要求 ..... 4

    5.2 环境温度 ..... 4

    5.3 表面温度( $t_p$  点温度) ..... 5

    5.4 空气流动 ..... 5

    5.5 测量电压及测量电流 ..... 5

    5.6 被测 LED 产品的工作姿态 ..... 6

    5.7 测量前的稳定 ..... 6

6 颜色测量设备 ..... 6

    6.1 积分球-光谱辐射计(光谱辐射计作为探测器) ..... 6

    6.2 分布光谱辐射计(光谱辐射计作为探测器) ..... 6

    6.3 积分球的要求 ..... 7

    6.4 分布光谱辐射计的旋转工作台要求 ..... 7

    6.5 光谱辐射计要求 ..... 7

7 指定方向的色度参数测量 ..... 8

8 平均色度参数测量 ..... 8

    8.1 积分球-光谱辐射计方法 ..... 8

    8.2 分布光谱辐射计方法 ..... 9

9 空间颜色不均匀性测量 ..... 10

10 校准与溯源 ..... 11

    10.1 积分球-光谱辐射计的定标 ..... 11

    10.2 分布光谱辐射计的定标 ..... 11

附录 A (资料性附录) 光谱辐射强度测量距离确定 ..... 12

附录 B (资料性附录) 角度扫描模式 ..... 13

附录 C (资料性附录) 采样间隔的确定 ..... 14

参考文献 ..... 19

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国轻工业联合会提出。

本标准由全国照明电器标准化技术委员会(SAC/TC 224)归口。

本标准起草单位:上海时代之光照明电器检测有限公司、杭州远方光电信息股份有限公司、广东省东莞市质量监督检测中心、杭州远方检测校准技术有限公司、广东省照明学会、中关村半导体照明工程研发及产业联盟、杭州华普永明光电股份有限公司、广州计量检测技术研究院。

本标准主要起草人:潘建根、王晔、施晓红、李本亮、李倩、陈聪、李自力、阮军、黄建明、汪立文。



# LED 产品空间颜色分布测量方法

## 1 范围

本标准规定了照明用白光 LED 灯、白光 LED 模块和白光 LED 灯具(以下统称为“LED 产品”)的颜色参数表示方式以及平均颜色和空间颜色分布的测量方法。

本标准适用于照明用白光 LED 产品。本标准不包含 LED 封装和 OLED(有机发光二极管)产品,但上述产品在遇到类似问题时,可以参考本标准。

## 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 2900.65—2004 电工术语 照明

GB/T 9468—2008 灯具分布光度测量的一般要求

GB/T 24826—2016 普通照明用 LED 产品和相关设备 术语和定义

ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2007 色度 第 1 部分:CIE 标准颜色观察者(Colorimetry—Part 1: CIE standard colorimetric observers)

ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2:2006 色度 第 2 部分:CIE 标准照明体(Colorimetry—Part 2: CIE standard illuminants)

ISO 11664-3:2012/CIE S 014-3:2011 色度 第 3 部分:CIE 三刺激值(Colorimetry—Part 3: CIE tristimulus values)

CIE 13.3—1995 测量和规范光源显色特性的方法(Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources)

CIE 15—2004 色度学(Colorimetry)

## 3 术语和定义

GB/T 2900.65—2004、GB/T 9468—2008、GB/T 24826—2016、ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2007、ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2:2006、ISO 11664-3:2012/CIE S 014-3:2011、CIE 13.3—1995、CIE 15—2004 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**总光谱辐射通量** total spectral radiant flux

LED 产品在全几何空间( $4\pi$  立体角)内的总辐射通量  $\Phi_e$  的光谱密集度[见式(1)]。

$$\Phi_{e,\lambda}(\lambda) = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

注:单位为瓦特每纳米( $\text{W} \cdot \text{nm}^{-1}$ )。

### 3.2

**光谱辐射照度** spectral irradiance

投射到面上一点的包含该点的面元上的光谱辐射通量除以该面元面积  $dA$ [见式(2)]。



$$E_e(\lambda) = \frac{d^2\Phi_e(\lambda)}{d\lambda \cdot dA} \dots\dots\dots(2)$$

注：单位为瓦特每平方米纳米(W · m<sup>-2</sup> · nm<sup>-1</sup>)。

### 3.3

**光谱辐射强度 spectral radiant intensity (of an LED product)**

离开 LED 产品的、在包含给定方向的立体角元 dΩ 内传播的光谱辐射通量除以该立体角元[见式(3)]。

$$I_e(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\Omega} \dots\dots\dots(3)$$

注：单位为瓦特每球面度纳米(W · sr<sup>-1</sup> · nm<sup>-1</sup>)。

### 3.4

**t<sub>p</sub> 点 t<sub>p</sub>-point**

LED 模块表面的指定位置点,性能温度 t<sub>p</sub> 和 t<sub>pmax</sub> 在该点测量。

### 3.5

**空间平均色品坐标 spatially averaged chromaticity coordinate**

LED 产品发出的在全几何空间(4π 立体角)内所有光束的平均色品坐标,标识为(x<sub>a</sub>, y<sub>a</sub>)或(u<sub>a</sub><sup>'</sup>, v<sub>a</sub><sup>'</sup>)。

注 1: 下标 a 表示平均值。

注 2: 对于仅有前射光的定向 LED 产品,可仅考察其在发光的半球(2π 立体角)内光束的平均色品坐标。

### 3.6

**空间平均显色指数 spatially averaged color rendering index**

LED 产品发出的在全几何空间(4π 立体角)内所有光束的平均显色指数,具体为空间平均一般显色指数 R<sub>a,a</sub> 和空间平均特殊显色指数 R<sub>9,a</sub>。

注 1: 下标中,后面的 a 表示平均值。

注 2: 对于仅有前射光的定向 LED 产品,可仅考察其在发光的半球(2π 立体角)内光束的平均显色指数。

### 3.7

**空间平均相关色温 spatially averaged correlated color temperature**

LED 产品发出的在全几何空间(4π 立体角)内所有光束的平均相关色温,标识为 T<sub>c,a</sub>。

注: 对于仅有前射光的定向 LED 产品,可仅考察其在发光的半球(2π 立体角)内光束的平均相关色温。

### 3.8

**信号积分区间 signal integration interval**

分布光谱辐射计在进行一次光谱信号积分测量时旋转的角度间隔。

### 3.9

**操作间隔 operation interval**

分布光谱辐射计测量时,相邻两个信号积分区间之间的间隔角度。

## 4 颜色的表示

### 4.1 色度参数

色度参数包括色品坐标(x, y)或(u', v')、一般显色指数 R<sub>a</sub>、特殊显色指数 R<sub>9</sub> 和相关色温(CCT)。显色指数的计算应依据 CIE 13.3—1995。

色品坐标(x, y)和(u', v')和相关色温的计算应依据 CIE 15—2004。

## 4.2 空间色度分布

LED产品的空间色度分布使用角度解析的色品坐标 $u'(\theta, \varphi)$ 、 $v'(\theta, \varphi)$ 、角度解析的相关色温 $T_c(\theta, \varphi)$ 和角度解析的一般显色指数 $R_a(\theta, \varphi)$ 和特殊显色指数 $R_9(\theta, \varphi)$ 来表示。

注：( $\theta, \varphi$ )用于表示给定方向的角度坐标，( $\theta, \varphi$ )=(0, 0)时为LED产品的基准轴方向， $\theta$ 为给定方向与基准轴的夹角， $\varphi$ 为方位角。

## 4.3 空间平均色度参数

空间平均色度参数包括空间平均色品坐标( $x_a, y_a$ )或( $u'_a, v'_a$ )、空间平均显色指数(空间平均一般显色指数 $R_{a,a}$ 、空间平均特殊显色指数 $R_{9,a}$ )和空间平均相关色温 $T_{c,a}$ 。除非特殊说明，以上参数可分别简写为色品坐标、显色指数、特殊显色指数 $R_9$ 和相关色温，用于表征LED产品的整体色度参数。

## 4.4 空间颜色非均匀性

空间颜色的非均匀性用CIE 1976均匀色品标度图中所有测量角度的色品坐标与空间平均色品坐标在色品图上的最大偏差来表示，即 $\Delta u'v'$ 。

## 4.5 标准光色和色容差范围

LED产品在白光范围内的标准光色包括F 6500、F 5000、F 4000、F 3500、F 3000、F 2700和P 2700，其色品坐标( $x, y$ )和相关色温 $T_c$ 由表1给出。对于采用非标准色坐标的灯，其额定值则应由制造商或销售商给定。

LED产品的色容差范围由 $N$ 步色匹配标准偏差(SDCM)MacAdam椭圆表示，色差范围具体由式(4)确定。

$$g_{11}\Delta x^2 + 2g_{12}\Delta x\Delta y + g_{22}\Delta y^2 = N^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$\Delta x$ 、 $\Delta y$ ——对于标准色光色品坐标的偏差。

不同的标准光色的系数 $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 和 $g_{22}$ 如表2所示。色差允值范围为椭圆形区域， $\theta$ 是椭圆的长轴与 $x$ 轴之间的角度， $a$ 和 $b$ 分别是1步SDCM椭圆的长半轴和短半轴。这些参数由 $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 和 $g_{22}$ 决定，如表3所示。

色容差范围(SDCM的步数)由具体产品的性能标准规定。

表1 白光标准光色对应色品坐标值( $x, y$ )和相关色温 $T_c$

颜色	$T_c/K$	$x$	$y$
F 6500	6 400	0.313	0.337
F 5000	5 000	0.346	0.359
F 4000	4 040	0.380	0.380
F 3500	3 450	0.409	0.394
F 3000	2 940	0.440	0.403
F 2700	2 720	0.463	0.420
P 2700	2 700	0.458	0.410

关于系数 $g_{11}$ 、 $g_{12}$ 和 $g_{22}$ ，采用表2中的数值。



表 2 白光标准光色对应系数  $g_{11}$ 、 $g_{12}$  和  $g_{22}$

颜色	$g_{11}$	$g_{12}$	$g_{22}$
F 6500	$86 \times 10^4$	$-40 \times 10^4$	$45 \times 10^4$
F 5000	$56 \times 10^4$	$-25 \times 10^4$	$28 \times 10^4$
F 4000	$39.5 \times 10^4$	$-21.5 \times 10^4$	$26 \times 10^4$
F 3500	$38 \times 10^4$	$-20 \times 10^4$	$25 \times 10^4$
F 3000	$39 \times 10^4$	$-19.5 \times 10^4$	$27.5 \times 10^4$
F 2700	$44 \times 10^4$	$-18.6 \times 10^4$	$27 \times 10^4$
P 2700	$44 \times 10^4$	$-18.6 \times 10^4$	$27 \times 10^4$

对于  $\theta$ 、 $a$  和  $b$ ，采用表 3 中的数值。

表 3 白光标准光色对应  $\theta$ 、 $a$  和  $b$

颜色	$\theta$	$a$	$b$
F 6500	$58^{\circ}23'$	0.002 23	0.000 95
F 5000	$59^{\circ}37'$	0.002 74	0.001 18
F 4000	$54^{\circ}00'$	0.003 13	0.001 34
F 3500	$52^{\circ}58'$	0.003 17	0.001 39
F 3000	$53^{\circ}10'$	0.002 78	0.001 36
F 2700	$57^{\circ}17'$	0.002 58	0.001 37
P 2700	$57^{\circ}17'$	0.002 58	0.001 37

注：LED 产品的色容差有时使用四边形表示的方法，其标准色光和容差范围参见标准 ANSI C78.377—2015。

5 测量条件

5.1 实验室要求

测量应在环境（如烟、尘、水汽和振动）对测量参数的影响可忽略不计的房间内进行。  
相对湿度应不超过 65%。使用分布光谱辐射测量时应屏蔽杂散光。

5.2 环境温度

测量的环境温度应为  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，为了满足这个容差要求，温度计的测量结果应在接受区间内。  
示例：温度测量的不确定度是  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $k=2$ )，接受区间将是  $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；若温度测量不确定度更大，则接受区间将更小。  
环境温度的测试点应靠近受试样品周围。使用积分球时，温度计的感应部分应放置在球内，与受试样品相同高度。如果受试样品安装于  $2\pi$  积分球顶部，温度计的感应部分可安装在球内靠近受试样品高度的位置。温度测量不应被受试样品的直射光影响，应安装挡板阻挡直射光照到感应部分。  
室内空调和加热器的位置设置应使气流和辐射热量不直接传达至受试样品或温度感应器。应注意使温度计和其外壳不干扰光线的测量路径。



注：空气温度可以用所有简便适合的温度计类型，比中玻璃温度计、热电偶和热敏电阻。可用抛光金属外壳罩在温度计外表面反射辐射（但需用挡屏，必要时，阻止反射光线到达探头）。

### 5.3 表面温度( $t_p$ 点温度)

除了按环境温度设计的 LED 模块以外，LED 模块的所有测试参数应出具额定性能温度  $t_p$  下的报告。

测量到的温度应在  $\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  容差范围内。为了符合此要求，温度测试的结果应位于接受区间内。

示例：当表面温度测量的不确定度为  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $k=2$ )，可接受区间为  $\pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如果不确定度更大，接受区间需更小。

注 1：温度计校准不确定度可以小至  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，但在某些情况下，表面温度的测量加进了温度计表面热接触的部分，导致测量不确定度升至  $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

注 2：依据相关额定寿命的声称，LED 模块额定性能温度  $t_p$  可能不只一个数值。

注 3：一旦 LED 模块被安装进引擎或灯具，它的  $t_p$  点可能接触不到，制造商或委托人可选择指明当前温度监测点以及给出这点温度和性能温度的关系，或者在样品上进行特殊的制备允许到达  $t_p$  点。

应注意确保温度计及其外壳不干扰光测量的路径。表面温度测量的设备不应影响受试样品的热表现，同时确保受试样品表面和温度计之间有良好的热接触。

### 5.4 空气流动

试验时 LED 产品周围的空气运动会降低工作温度，使其光输出受到影响。引起空气运动的原因有气流、空调或测量设备上样品的移动。样品周围空气的运动速度应不超过  $0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

注 1：积分球关闭时可以满足以上要求，除非球内安装风力空气温度控制，这种情况下要求特性的描述。关闭积分球时会造成样品表面的气流，因此必要时在关闭球后使样品稳定一会儿后再进行测量。

注 2：对于温度偏差非常灵敏的 LED 设备要求更低的气流速率（比如低于  $0.10\text{ m/s}$ ）。

注 3：分布光谱辐射计测试时，移动样品位置的气流速度无法满足上述要求时，需要进行相应的修正。

### 5.5 测量电压及测量电流

待测 LED 产品应工作在额定供电电压，或者额定供电电流（DC 电流输入的 LED 模块）下。

允差区间：AC 电压 RMS（均方根） $\pm 0.4\%$ ；DC 电压  $\pm 0.2\%$ 。对于 DC 电流输入的 LED 模块，DC 电流  $\pm 0.2\%$ 。为了符合此要求，测试结果应位于接受区间内，如果 AC 电压测量不确定度为  $0.2\%$ ，则接受区间为  $\pm 0.2\%$ 。

若额定供电电压指定为一个范围，测试电压应根据合适的产品标准来选定。

AC 伏特表和安培表的校准不确定度应小于或等于  $0.2\%$ 。DC 伏特表和安培表的校准不确定度应小于或等于  $0.1\%$ 。AC 功率计或者功率分析仪的校准不确定度应小于或等于  $0.5\%$ 。带宽至少为  $100\text{ kHz}$ 。当声称不具有显著高频组分（ $5\text{ kHz}$  或者  $30\text{ kHz}$ ）时，允许采用较低带宽（分别为  $5\text{ kHz}$  或者  $30\text{ kHz}$ ）。

注 1：LED 产品中可能存在或者不存在显著高频组分（ $>5\text{ kHz}$ ），取决于辅助机构（控制器，调光器等）的使用。对于能够产生显著高频组分的 LED 控制器，带宽为  $100\text{ kHz}$  可能也未必足够，此时可选用满足这种特殊情况的功率分析仪（如  $1\text{ MHz}$  带宽）。

所有供电电流的导线和接头均应安全固定并且有足够低的阻抗。测试电路应符合相关的 IEC 灯标准。应采用 4 线测量方法。对于 LED 灯具，连接端为电压测量的参考点。测量功率消耗非常小的 LED 器件时，应当保证电压表或功率计的阻抗足够大以避免由电流泄漏缠身的误差。电压测量电路的内部阻抗应至少为  $1\text{ M}\Omega$ 。

注 2：某些 DUT 具有高阻抗，因此必要时需引入具有更高内部阻抗的测量设备。

DC 功率的测量可以通过采用合适的设备直接获得或者从测得的电压和电流中得到。AC 供电电源应有正弦电压波形。当连接 DUT 并接通时，供电网络（供电单元、导线和连接器）电压的总谐波失真

(THD)应不超过 1.5%。如果被测量 DUT 的功率因数高于 0.9,则 THD 可超过 1.5%但不应超过 3%。DC 供电电压的 AC 组分(RMS 值)不应超过 DC 电压的 0.5%。

## 5.6 被测 LED 产品的工作姿态

除非另有指定,LED 产品应工作在自由空气中,且位于灯头垂直朝上的工作姿态;当宣称该 LED 产品设计在某一特定姿态下使用时,在所有测试中该 LED 产品都应保持设计工作姿态。如若不能符合本要求,则应将测量校正至指定工作姿态下。

LED 模块如果其温度设置并维持在性能温度  $t_p$  下,则可以在任意姿态下工作。

示例:

可采用辅助光度计方法校正光度测量,辅助光度计监视被测 LED 产品在某一固定方向的相对光强度。本方法中,用参考值与辅助光度计在各个不同工作姿态下的测量值的比值作为测量校正因子。参考值由光源处于指定工作姿态并达到稳定后辅助光度计的测量值来表示。辅助光度计与被测 LED 产品的相对位置关系在整个测试过程中保持不变。

注 1: 一个灯具可通过线或者具有低热导率的支撑材料如聚四氟乙烯悬挂在空气中。

任何测量,均应报告器件的工作姿态。

注 2: LED 的发光过程并不会受到姿态的影响(相对于重力)。但是,LED 灯和 LED 灯具的姿态变化会导致器件内 LED 热状态的改变,进而影响器件的光输出。

## 5.7 测量前的稳定

应在被测 LED 产品达到稳定状态后开始测量。当被测 LED 产品在至少 15 min 内其光输出和电功率的最大读数和最小读数间的差异小于最小读数的 0.5%时,认为其已经达到稳定。

如若 LED 产品表现出较大的波动,且 LED 灯在 45 min 或者 LED 灯具在 150 min 内还未达到稳定状态,可以开始测量但同时应将观测到的波动加以记录。然而,如果读数并非随意波动,而是观测到测量值缓慢降低,此时只有当达到稳定标准时才可开始测量。

# 6 颜色测量设备

## 6.1 积分球-光谱辐射计(光谱辐射计作为探测器)

用于测量 LED 产品的总光谱辐射通量(单位:  $W \cdot nm^{-1}$ ),并计算得到空间平均颜色参数,包括色品坐标、相关色温、显色指数等。

积分球-光谱辐射计的组成包括:

- 积分球,可以由两个半球组合而成,用于反射和混合被测产品发出的光色,要求详见 6.3;
- 光谱辐射仪及电参数测量仪及电源,用于接收及处理光色数据及输出结果,要求详见 6.5。

## 6.2 分布光谱辐射计(光谱辐射计作为探测器)

用于测量 LED 产品的空间光谱辐射照度或者空间光谱辐射强度,得到总光谱辐射通量、空间平均颜色参数以及空间颜色均匀性等参数。

分布光谱辐射计由旋转工作台和光谱辐射计组成:

- 旋转工作台夹持被测 LED 产品并按照一定的角度间隔转动样品或转动探测器来测量被测样品所发出的光的系统,要求详见 6.4;
- 光谱辐射仪及电参数测量仪及电源,用于接收及处理光色数据及输出结果,要求详见 6.5。

将光谱辐射计安装在旋转工作台上,在整个光束主要的覆盖空间区域内按照一定的角度间隔采集光辐射数据。

### 6.3 积分球的要求

积分球内壁的涂层应当具备漫反射、高反射、无光谱选择性且没有荧光性,涂层的反射率宜大于 90%。

积分球的尺寸应足够大以避免由于挡板以及被测 LED 产品本身导致的积分球响应分布不均匀而产生的较大误差,具体要求为:当被测 LED 产品安装在积分球中心时( $4\pi$  法),被测 LED 产品的总表面积不应超过积分球内壁总面积的 2%;当被测 LED 产品安装在积分球开口时( $2\pi$  法),开口直径不应超过积分球直径的  $1/3$ 。

当线型 LED 产品安装在积分球中心时( $4\pi$  法),它的长轴应与探测器探头到积分球中心连线共轴,这样挡板的尺寸可以最小。

积分球内的光源固定装置以及辅助设备的尺寸应尽可能的小。所有积分球内的挡板连同受试设备的支撑结构都应尽可能的涂有高反射率的涂层。

注:朝向探测器一边的挡板的反射率可以较低,涂层也可以与积分球一样。

积分球系统应有足够的机械重复性,要求在开启和关闭积分球后的重复性应在  $\pm 0.5\%$  以内,且应纳入总不确定度计算中。

积分球系统(包括测量设备)在两次校准期间的响应度应具有足够高的稳定性,具体要求:除非积分球在每次使用前都校准过,否则积分球应在合适的时间间隔重新校准,以保证在校准间隔时间内,积分球系统的响应度漂移量低于 0.5%。

应采用与被测 LED 产品有相似光强分布的标准灯校准积分球系统(如全方向性或定向型)。标准灯与被测 LED 产品的光强分布差异应纳入不确定度计算中。

积分球应配备有辅助灯以实施自吸收测量,辅助灯应可发射覆盖整个可见光波长范围的辐射。辅助灯也应该有挡板,使其直射光线不会照射到探测器口或被测样品。

### 6.4 分布光谱辐射计的旋转工作台要求

分布光谱辐射计的旋转工作台的一般要求详见 GB/T 9468—2008,扫描角度范围应能覆盖整个 LED 产品发射光的角度,角度精度应在  $\pm 0.5^\circ$  以内,角度显示分辨率应为  $0.1^\circ$  或更高。

由于机械装置(如支承光源的灯臂)遮挡光源发射光的角度区域(称为死角)不应超过 0.1 sr(约  $10^\circ$  半径的锥角),否则应予以校正。

在测量过程中应保持被测 LED 产品的热平衡,LED 产品的工作姿态变化以及位置的变化都会影响热平衡。

注:反射镜中心的 C 型旋转工作台,被测 LED 产品要在大空间范围内运动,上下环境温差会影响热平衡,此时可对该位置变化产生的影响进行校正,并纳入不确定度评估中,可参照 5.6 采用与被测 LED 产品相对位置保持不变的辅助光度计进行校正。

应注意旋转工作台中的发射镜本身具有轻微的偏振性,所以在测量偏振光的 LED 产品的总光谱辐射通量时,会导致测量误差。因此测量这类 LED 产品,不宜使用带反射镜的分布光谱辐射计,有些反射镜型的分布光谱辐射计可以选择将探测器直接安装在转臂上,面对被测 LED 产品进行测量。

应采取措施来避免分布光谱辐射计的机械结构或其他表面的一次或二次反射光进入光谱辐射计。

如果 LED 产品在测量中的安装方位不同于标准工作方位,或者热平衡受到了影响,则应对测量结果进行校正,并纳入不确定度评估。

旋转工作台实现的测量距离应符合第 7 章中的相应要求。

### 6.5 光谱辐射计要求

积分球-光谱辐射计和分布光谱辐射计中的光谱辐射计应满足以下要求:



- 波长范围应至少覆盖 380 nm~780 nm;
  - 光谱辐射计的波长最大允许误差为 $\pm 0.5$  nm;
  - 带宽(半峰全宽)以及扫描间隔应不大于 5 nm;
  - 光谱辐射计应对辐射输入的每个可见光波长都有线性响应,非线性的影响应纳入不确定度考量中;
  - 光谱辐射计内部的杂散光应纳入不确定度考量中。
- 积分球-光谱辐射计中的光谱辐射计入光口需经余弦校正,其  $f_2$  值应小于或等于 15%。

## 7 指定方向的色度参数测量

LED 产品指定方向的色度参数测量应使用分布光谱辐射计测量,计算获得角度解析的色品坐标  $u'(\theta, \varphi)$ 、 $v'(\theta, \varphi)$ 、角度解析的相关色温  $T_c(\theta, \varphi)$  和角度解析的一般显色指数  $R_a(\theta, \varphi)$  和特殊显色指数  $R_9(\theta, \varphi)$ 。如没有特别规定,则指定方位为 LED 产品的基准轴方向,即  $(\theta, \varphi) = (0, 0)$  的方向。

在测光暗室中,将被测 LED 产品夹持在分布光谱辐射计上,使 LED 产品处于规定的工作姿态,LED 产品的光度中心处于分布光谱辐射计的旋转工作台的旋转中心。

对于颜色均匀分布的 LED 产品,测量可以在任何距离下进行。对于颜色分布不均匀的 LED 产品,除非另有指定,否则应将光谱辐射强度的测量距离作为颜色参数的测量距离。

光谱辐射强度测量要求足够的测试距离,具体分析可参照附录 A,对于常见的受试样品,其光谱辐射强度测试距离可参照如下:

- 受试样品的所有 C 平面配光形状近似余弦分布(光束角 $\geq 90^\circ$ ): $\geq 5 \times D$ ;
- 受试样品的某些 C 平面的光分布角度范围比余弦分布宽(光束角 $\geq 60^\circ$ ): $\geq 10 \times D$ ;
- 受试样品的光分布角度范围较窄,光强分布形状陡峭或严格的眩光控制: $\geq 15 \times D$ ;
- 受试样品的发光面之间存在较多不发光区域 $\geq 15 \times (D + S)$ 。

其中, $D$  为受试样品的最大发光尺寸, $S$  为两个相邻近的发光面之间的最大距离。

## 8 平均色度参数测量

### 8.1 积分球-光谱辐射计方法

使用积分球-光谱辐射计测量 LED 产品的总光谱辐射通量,并根据 CIE 文件计算得到被测 LED 产品的平均色度参数。

注:使用积分球-光谱辐射计测量空间颜色不均匀性较大的 LED 产品时,可能会存在较大误差。

积分球-光谱辐射计适用于空间颜色分布均匀或者漫透射的产品,比如带乳白罩壳的光源、带扩散板的灯具。积分球-光谱辐射计包括  $4\pi$  和  $2\pi$  两种测量几何。 $4\pi$  法适用于各种发光分布类型的 LED 产品。被测 LED 产品以规定的方位安装在积分球中心,如果可能的话,被测 LED 产品的安装应使落在挡板上的直射光最少。线性光源应使其基准轴与探头和积分球中心的连线共轴。使用放置在同一位置处的光谱辐射通量标准灯校准积分球。

$2\pi$  法只能用于具有半球或定向光分布且无后发射的 LED 产品,如图 1 所示。对于  $2\pi$  积分球,安装 LED 产品的孔径应小于  $1/3$  球直径。LED 产品应安装于圆孔内侧,使产品前面的边缘和孔边缘平齐(或者可以略进入球内,确保所有出射的光线被包在球内)。开孔边缘和 LED 产品的间隙用内部为白色的表面覆盖,这样球与外界完全隔离开,使测试可以在普通环境照明的房间内进行,如图 2a)所示。如果不便于隔离,可以将间隙保持敞开,将积分球处于暗室内进行测试(或至少在开孔周围处置为暗室的环境),不能使外部的光线或反射光线进入球内,如图 2b)所示。使受试的 LED 产品固定于球的支撑材料或结构不将 LED 产品的热量传导至球壁。应使用一块小挡板阻挡 LED 产品直射光谱辐射计取样

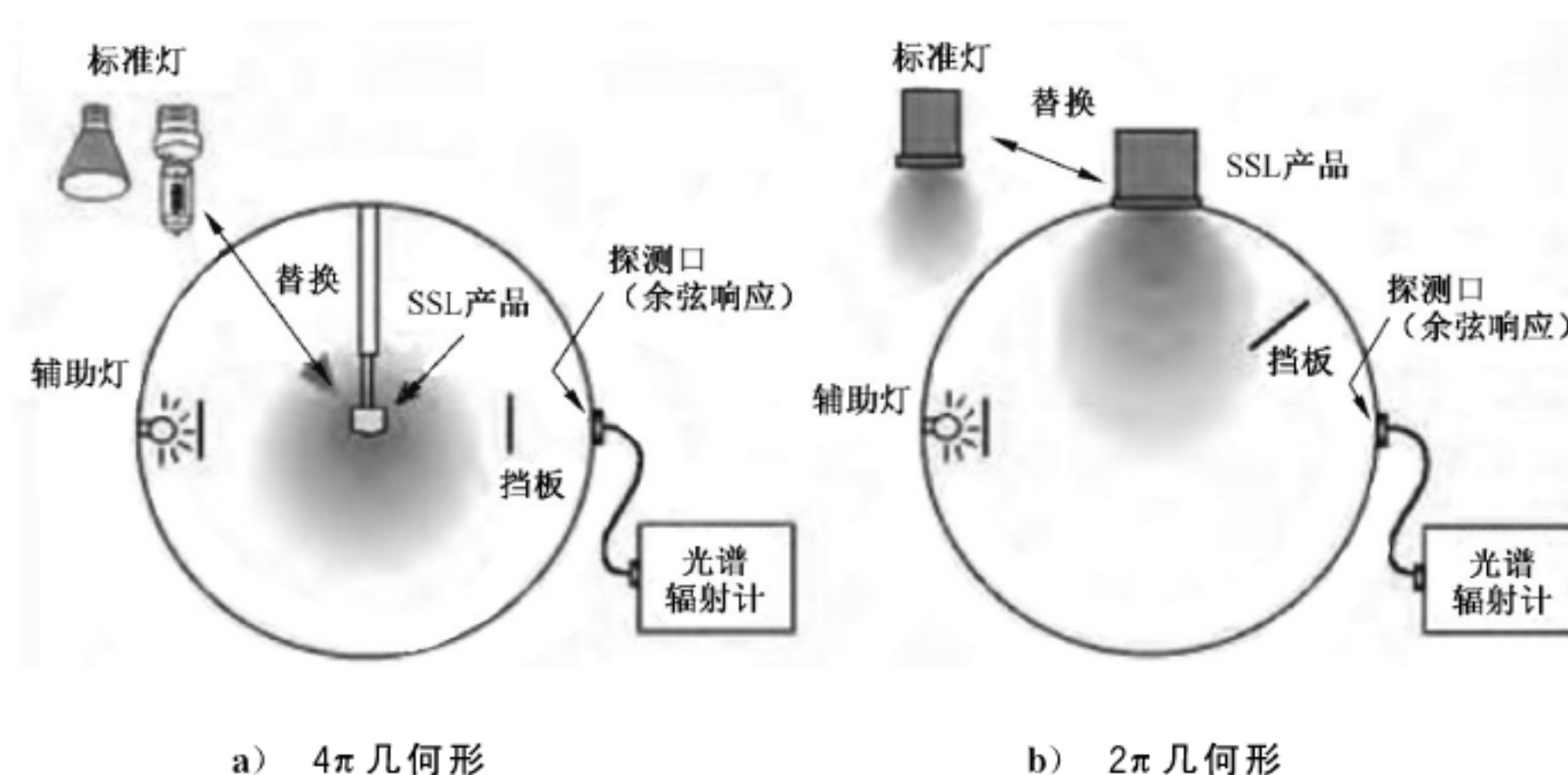


装置。使用具有半球光分布的光谱辐射通量标准灯放置在与被测 LED 产品相同的位置来校准积分球。除非被测 LED 产品与定标积分球-光谱辐射计的标准灯的尺寸和反射特性都相近,且在测量报告中宣称使用的标准灯以及被测 LED 产品的类型,否则应采用辅助灯按照式(5)进行光谱自吸收系数校正。

$$\alpha(\lambda) = \frac{y_{\text{aux,TEST}}(\lambda)}{y_{\text{aux,REF}}(\lambda)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $\alpha(\lambda)$  ——各个波长下的自吸收校正系数;
- $y_{\text{aux,TEST}}(\lambda)$  ——被测 LED 产品位于测量位置时辅助灯点亮时的光谱辐射计读数;
- $y_{\text{aux,REF}}(\lambda)$  ——标准灯位于测量位置时辅助灯点亮时的光谱辐射计读数。



说明:

4π 几何形适用于各种类型的 SSL 产品;

2π 几何形适用于只有正向发光的 SSL 产品。

图 1 用光谱辐射计测量时推荐采用的球体几何结构

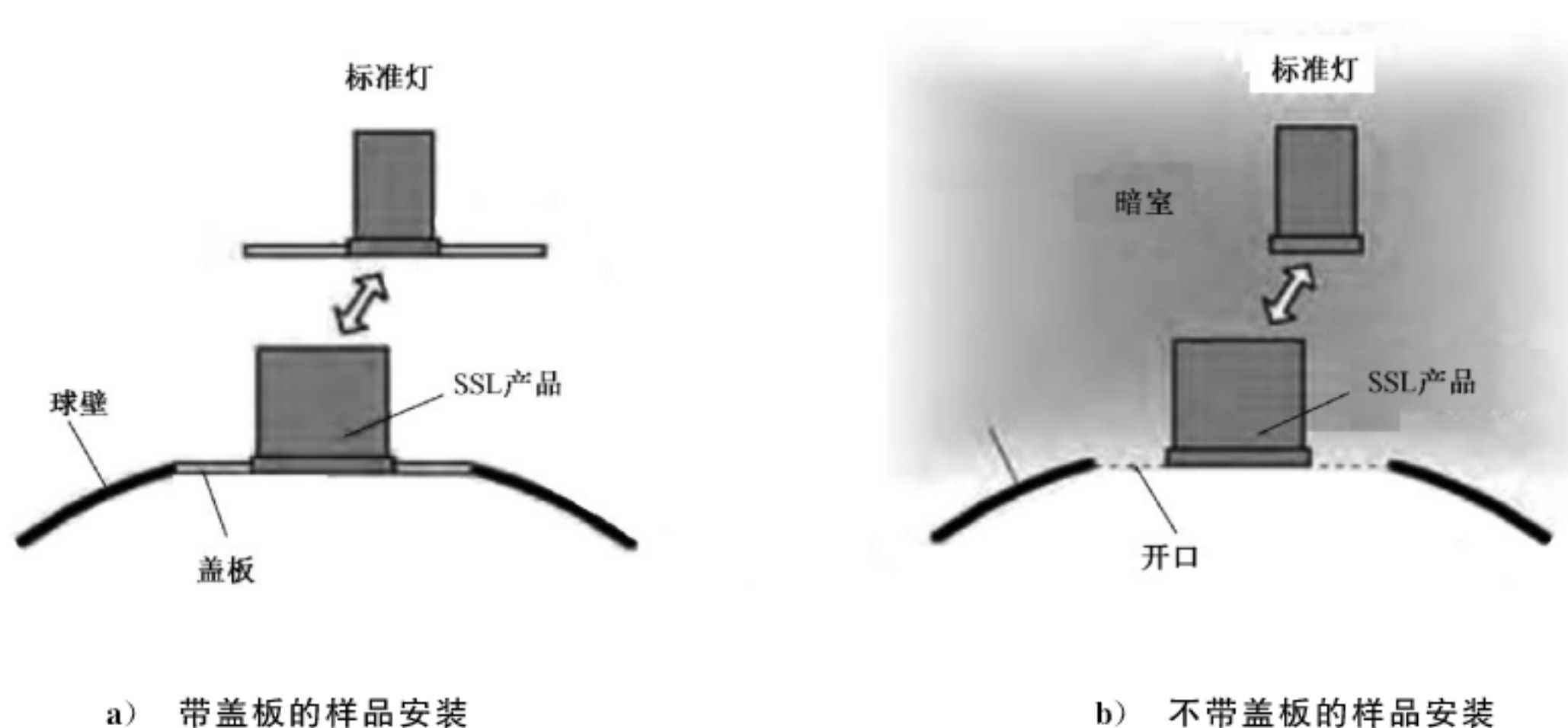


图 2 被测样品的安装条件

## 8.2 分布光谱辐射计方法

使用分布光谱辐射计测量 LED 产品的光谱辐射通量,进而通过计算总的光谱辐射通量计算空间平均颜色参数。

总光谱辐射通量可以通过光谱辐射照度积分法或者光谱辐射强度积分法得到,计算原理示意图如

图 3 所示。

在测光暗室中,将被测 LED 产品夹持在分布光谱辐射计上,使 LED 产品处于规定的工作姿态,LED 产品的发光中心处于分布光度计的旋转中心。若 LED 产品并非工作在规定工作姿态或者工作姿态不断变化,则应采用相应的校正系数。分布光谱辐射计中光谱辐射计的角度扫描方式可参考附录 B。

光谱辐射照度积分法对 LED 产品到光谱辐射计接收面的测量距离没有严格要求。

按式(6)计算出 LED 产品的总光谱辐射通量:

$$\Phi_{e,\lambda,\text{tot}}(\lambda) = \int_{(S_{\text{tot}})} E_e(\lambda) dS = \int_0^{4\pi} r^2 E_e(\lambda) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi r^2 E_e(\lambda) \sin\theta d\theta d\varphi \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\Phi_{e,\lambda,\text{tot}}(\lambda)$ ——总光谱辐射通量;

$r$ ——虚拟球面的半径;

$S_{\text{tot}}$ ——虚拟球上的表面面积;

$(\theta, \varphi)$ ——空间角。

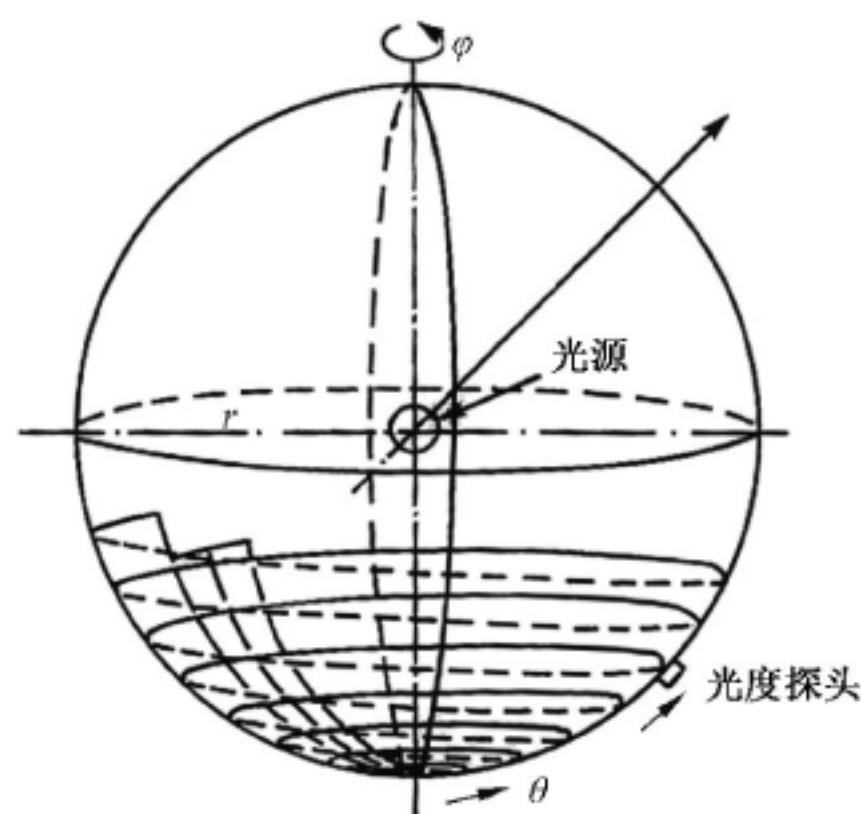


图 3 光谱辐射通量的计算原理示意图

为了得到总光谱辐射通量,应在足够多的发光平面上以足够小的角度间隔测量光谱辐射照度或者光谱辐射强度,平面间角度间隔一般为  $22.5^\circ$ ,平面内的角度间隔一般为  $5^\circ$ 。光束角小于  $50^\circ$  的 LED 产品,角度增量应小于或等于光束角的  $1/10$ 。采样间隔的选取也可以参考附录 C。

注: LED 灯、LED 模块和一般照明用 LED 灯具的光束角的定义参照 GB/T 24826—2016,LED 投光灯具对应于半峰发散角,其定义引自 GB/T 23110—2008。

色度测量只需在平均光强超过最大强度  $10\%$  的角度内进行。

## 9 空间颜色不均匀性测量

所有 LED 产品的空间颜色均匀性的测试均应使用分布光谱辐射计测量。

按照第 8 章所述的采样间隔测量各个方向的光谱辐射强度,并计算出相应方向的色度参数,对于光强数据低于最大光强  $10\%$  的数据可在计算中不予考虑。

空间颜色均匀性是 LED 产品沿各个方向发射光的色品坐标与空间平均色坐标的最大偏差,色品坐标偏差的计算公式如式(7):

$$\Delta_{u'v'} = \sqrt{(u' - u'_a)^2 + (v' - v'_a)^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$



式中：  
 $(u_a', v_a')$ ——空间平均色品坐标，采用 CIE 1976 UCS 色度空间表示；  
 $(u', v')$  ——某一方向上的色品坐标，采用 CIE 1976 UCS 色度空间表示。  
取  $\Delta_{u'v'}$  的最大值作为空间颜色均匀性指标。

10 校准与溯源

10.1 积分球-光谱辐射计的定标

积分球-光谱辐射计应使用溯源至国际单位(SI)的总光谱辐射通量标准灯进行定标。如果没有总光谱辐射通量标准灯,用户可以从溯源至 SI 的光谱辐照度标准灯和总光通量标准灯推导得到,此时,应在测试报告中注明推导的方法以及相关数据(如标准灯的空间光谱均匀性或相关色温)。  
注：积分球-光谱辐射计视为一个整体进行总光谱辐射通量的定标。

10.2 分布光谱辐射计的定标

分布光谱辐射计应采用溯源至 SI 的光谱辐照度标准灯或光谱辐射强度标准灯进行定标。对于反射镜型的分布光谱辐射计,测量光路经过反射镜时,则应计入反射镜的光谱反射率。或者使用溯源至 SI 的总光谱辐射通量标准灯来校准分布光谱辐射计系统,注意分布光谱辐射计的死角不应总光谱辐射通量标准灯的测量产生影响。

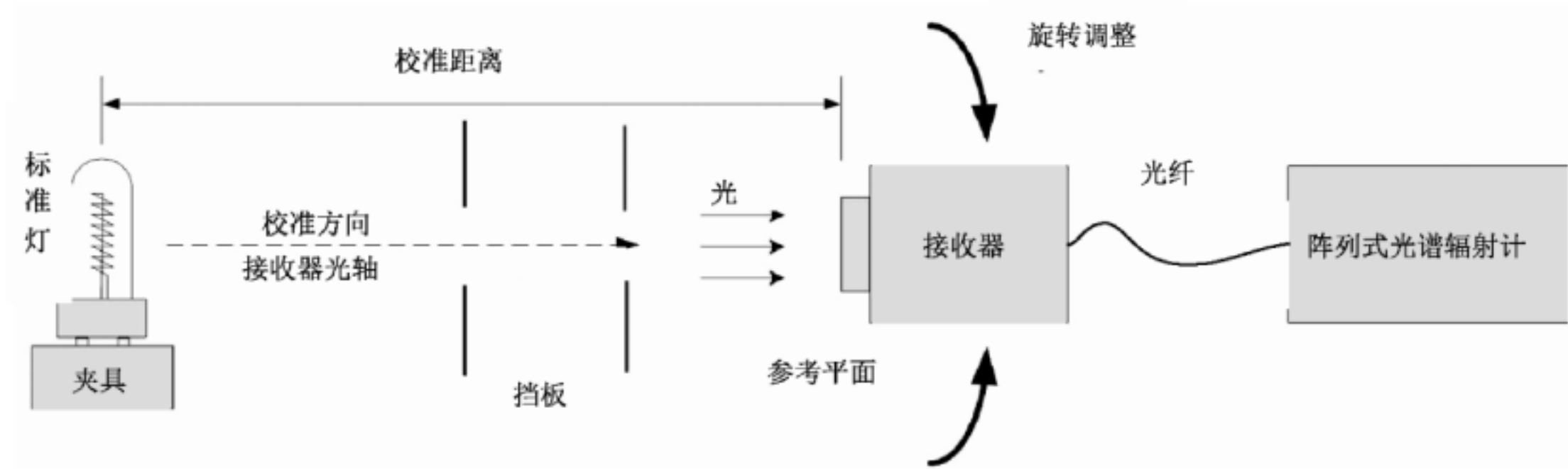


图 4 采用光谱辐照度标准灯或光谱辐射强度标准灯的定标示意图

图 4 是典型的定标示意图。应保持标准灯的姿态为其额定姿态。光谱辐射计的接收器光轴与标准灯的光学中心对准。采用光谱辐照度标准灯时,定标距离应与标准灯的标称距离一致。当采用光谱辐射强度标准灯时,定标距离可按照第 7 章中光谱辐射强度的测试距离,一般应不小于标准光源最大发光尺寸的 15 倍。

附录 A  
(资料性附录)

光谱辐射强度测量距离确定

光谱辐射强度的测量距离为在不同波长下辐射强度测量距离的最大值,此时平方反比定律对实际波段内每个波长下的辐射强度都适用。

对于颜色分布均匀的光源,光谱辐射强度的测量距离等于光强的测量距离;对于颜色分布不均匀的光源,光谱辐射强度的测量距离不得小于光强的测量距离。

在色度参数测量中,对于颜色均匀分布的光源,测量可以在任何距离下进行;然而,对于颜色分布严重不均匀的光源,将光强的测量距离作为颜色参数的测量距离。

图 A.1 为在最低点处的光谱辐射强度测量距离与光强的测量距离的比较图。假设灯辐射面的最大尺寸为  $d$ ,在  $500d$  处近似为无限远处的一个点。光强的相对误差和不同波长处的辐射强度最大相对误差的公差都设定为 1%。在图 A.1 中的模拟结果表明光强的测试距离是  $14.5d$ ,光谱辐射强度的测量距离是  $16d$ 。

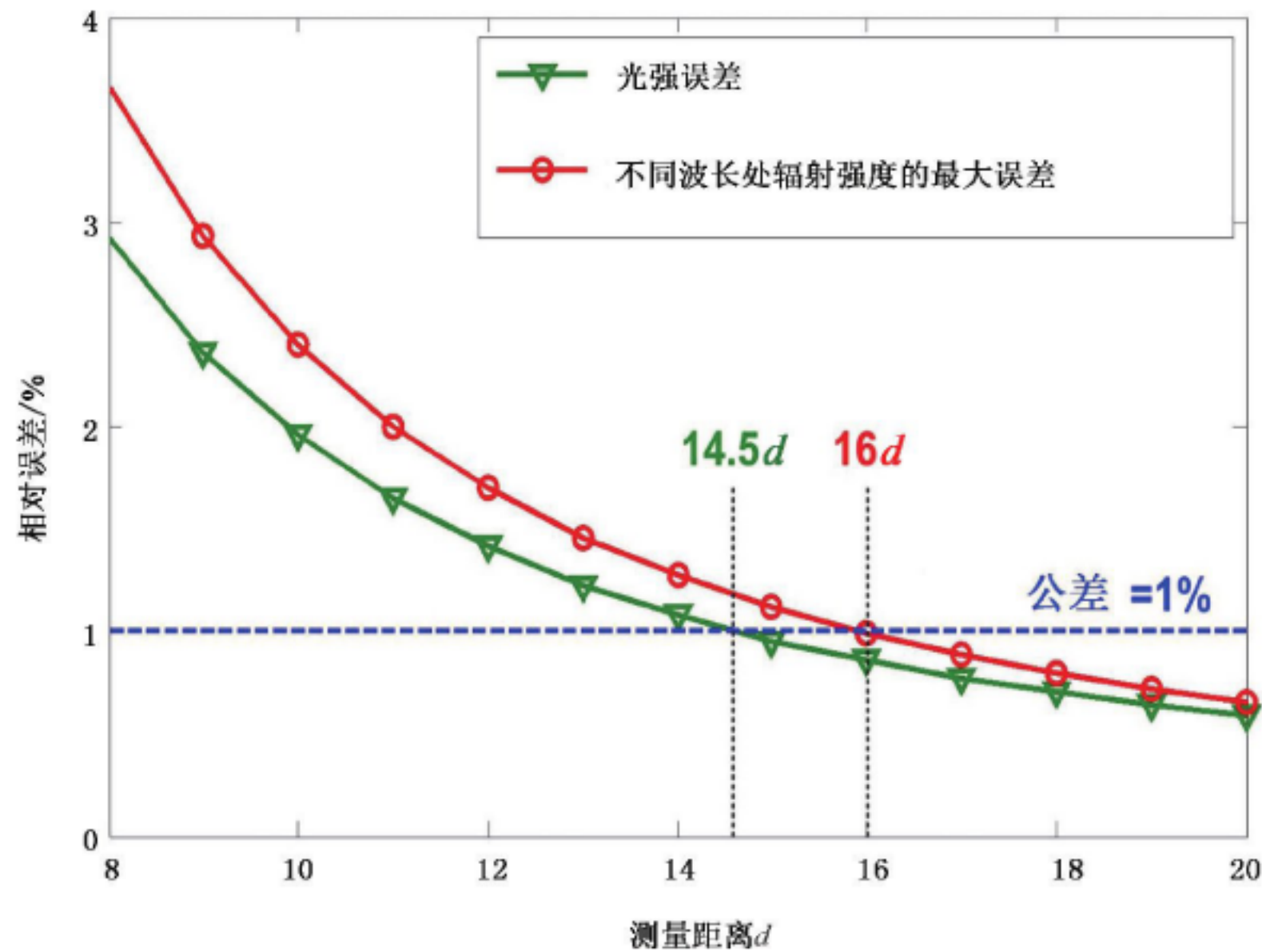


图 A.1 在不同测量距离下相对误差的变化



**附 录 B**  
(资料性附录)  
**角度扫描模式**

### B.1 转停模式(SR 模式)

在 SR 模式中,分布光谱辐射计在信号采样时将停止旋转。在一个位置完成测量以后,分布光谱辐射计再开始旋转。然后,重复上述测试程序直到在全空间内的测量结束。这种模式测量时间比较长,并且在分布光谱辐射计的开始和停止过程中可能对测试的稳定性产生影响。

### B.2 连续旋转模式(CR 模式)

为了减少测量时间和增强旋转的稳定性,可采用连续测量模式(CR 模式),CR 扫描模式的示意图如图 B.1 所示。在连续旋转模式下,分布光谱辐射计以一定的速度连续旋转,在整个测量平面内并不停止,提高了测试系统的稳定性。旋转和测量须同步进行。

对于 CR 模式,测量在每个信号积分区间内(分布光谱辐射计仍然保持旋转)内进行。测量所得的值实际是每个信号积分区间内的平均值。相应的采样角度位置为信号积分间隔的中间位置。两次连续的信号积分区间之间的间隔为操作间隔,操作间隔可以获得上一次信号积分间隔的测量信号并且决定下一次信号积分区间的起始角度位置。

最大的采样区间处于采样信号变化较小的角度区域内。对于信号变化非常快的角度区间,采样区间则要更小。如果采样信号变化非常快并且信号非常弱,那么可减慢分布光谱辐射计的旋转速度来保证测量精度。

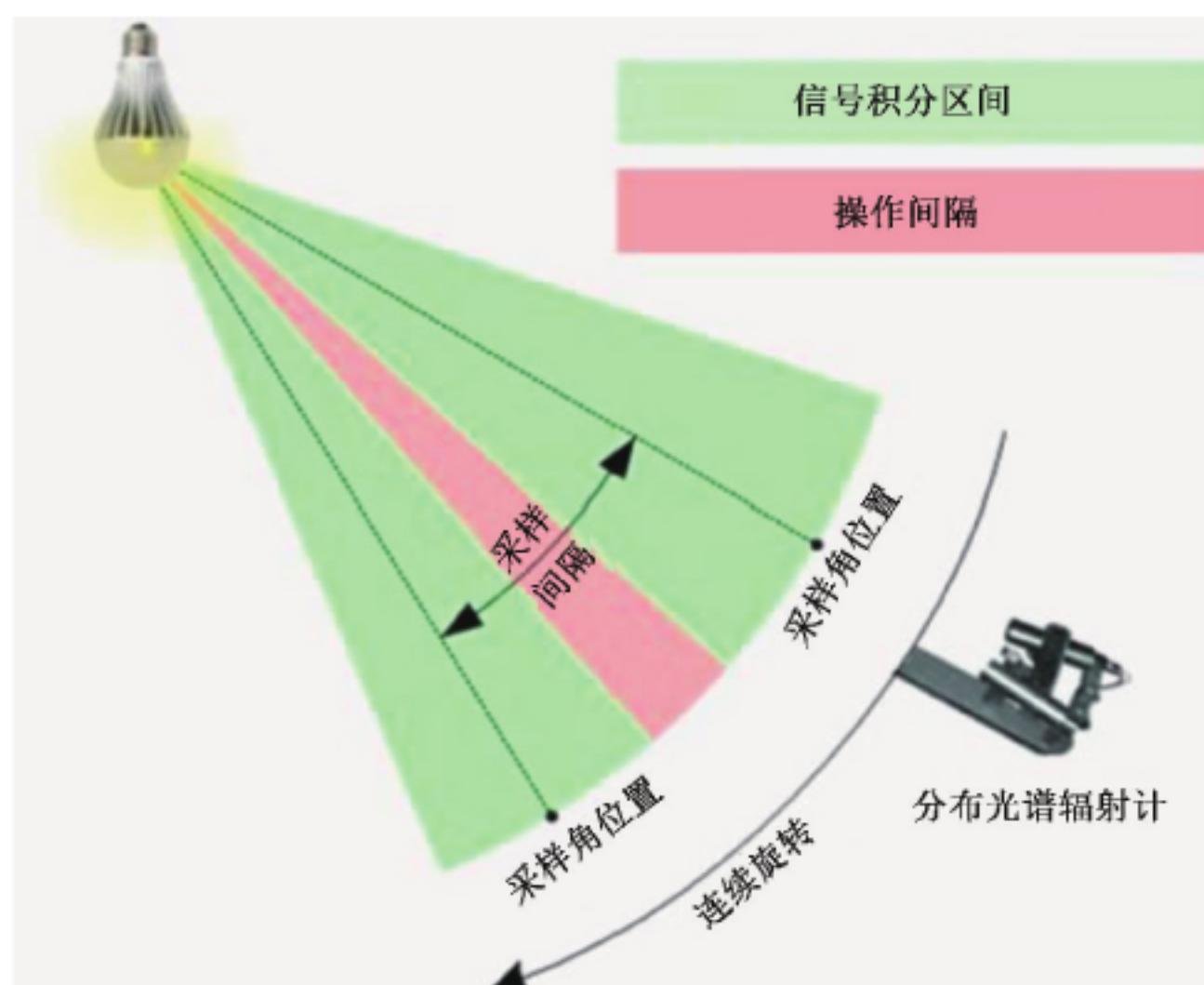


图 B.1 CR 扫描模式示意图

附录 C  
(资料性附录)  
采样间隔的确定

C.1 基于光谱辐射参数的采样间隔确定

C.1.1 光谱辐射参数分布模拟

在给定 C 测量平面上,基于荧光剂的 LED 光谱辐射参数分布在图 C.1 中给出。在每个波长下的辐射参数随  $\gamma$  变化。具有均匀分布的噪声也被模拟,其幅值是信号最大幅值的 1/200。 $\gamma$  的变化范围是  $-180^\circ \sim 180^\circ$ 。

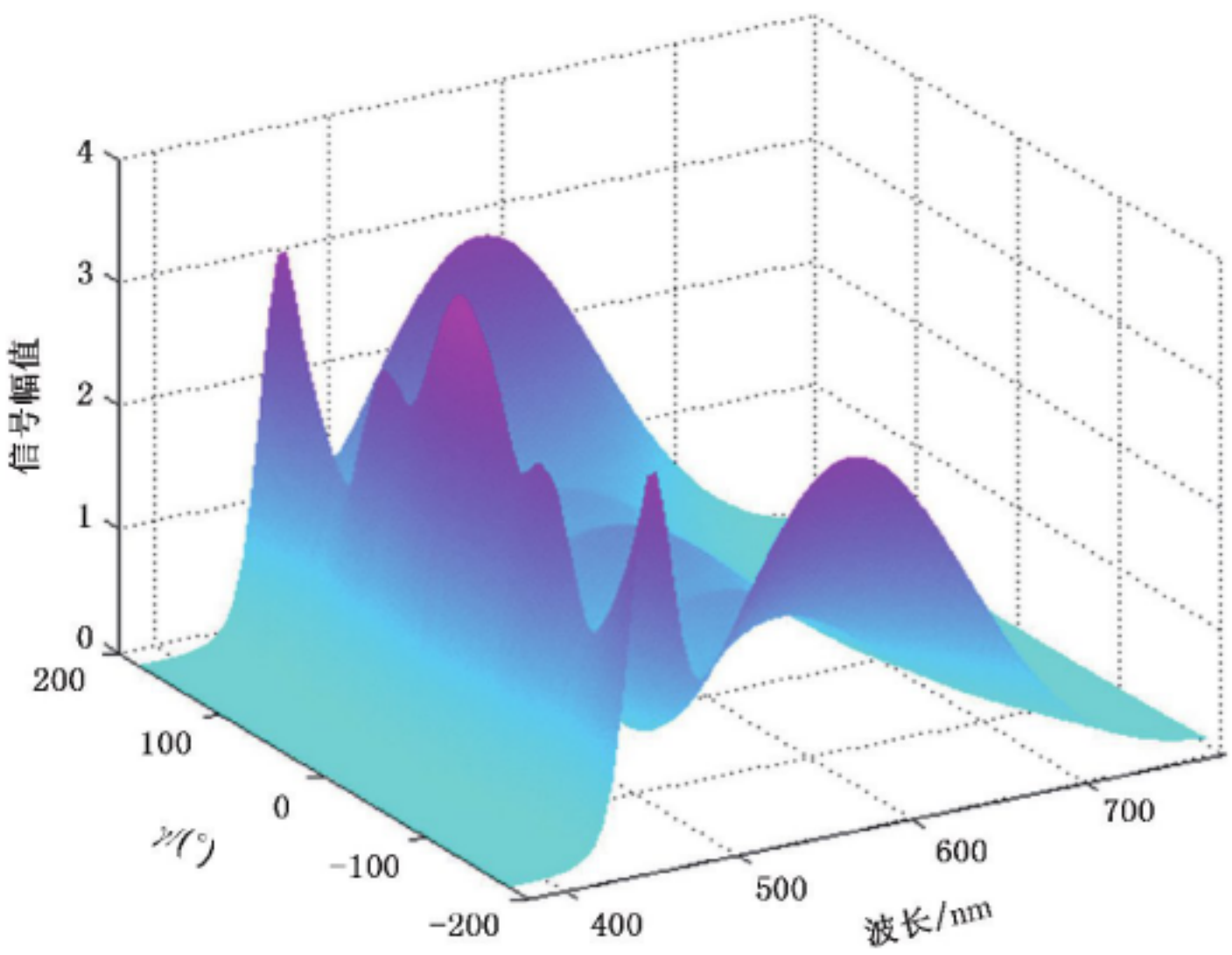


图 C.1 在 C 测量平面上光谱辐射参数分布

C.1.2 在每个波长下的采样间隔确定

波长间隔设置为 5 nm。为确定特定波长处的采样间隔,初始采样间隔设置为  $22.5^\circ$ ,频域判定限值  $\delta_1$  设置为 1/200。

以在蓝光的峰值波长(465 nm)处进行采样间隔确定为例。在 465 nm 处的辐射参数变化在图 C.2 中显示,随采样间隔减小  $\delta$  变化如图 C.3 所示。 $\delta$  的变化表明第三次扫描的采样间隔  $5.6^\circ$  为最佳采样间隔。

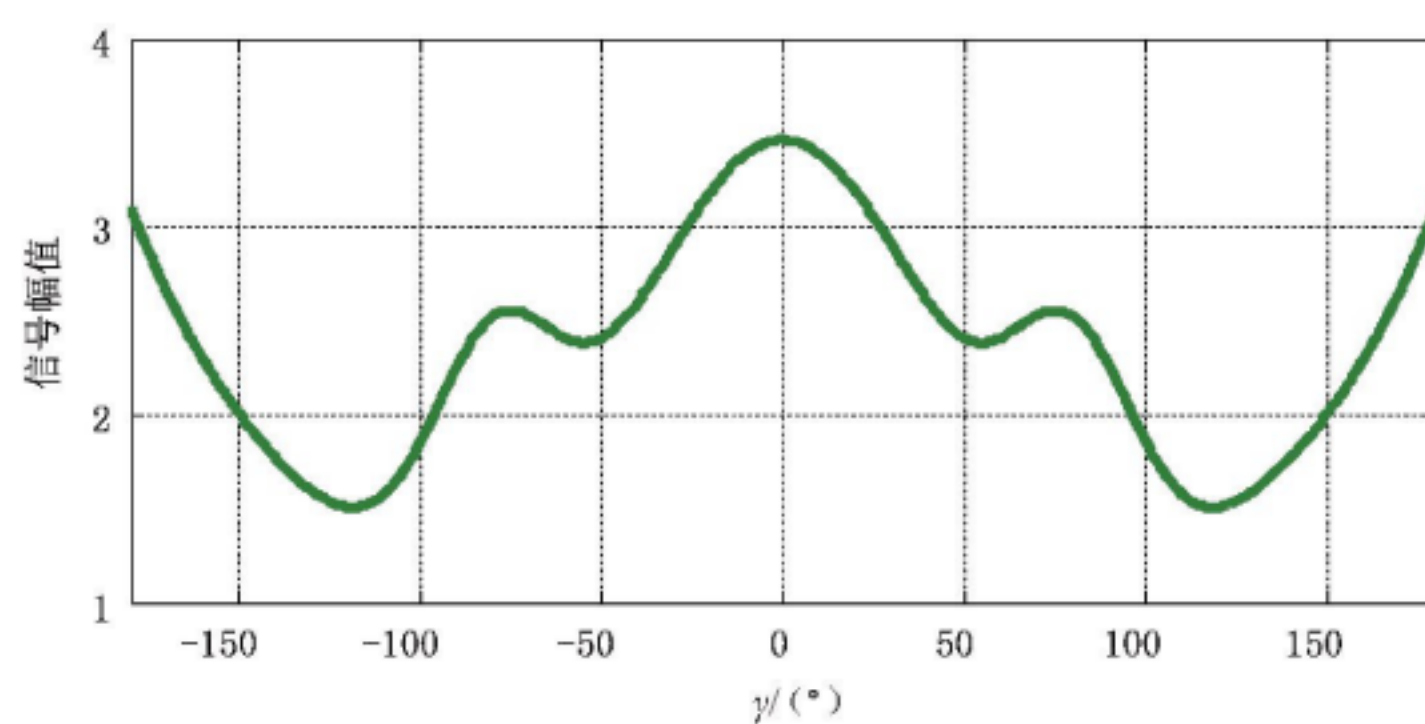
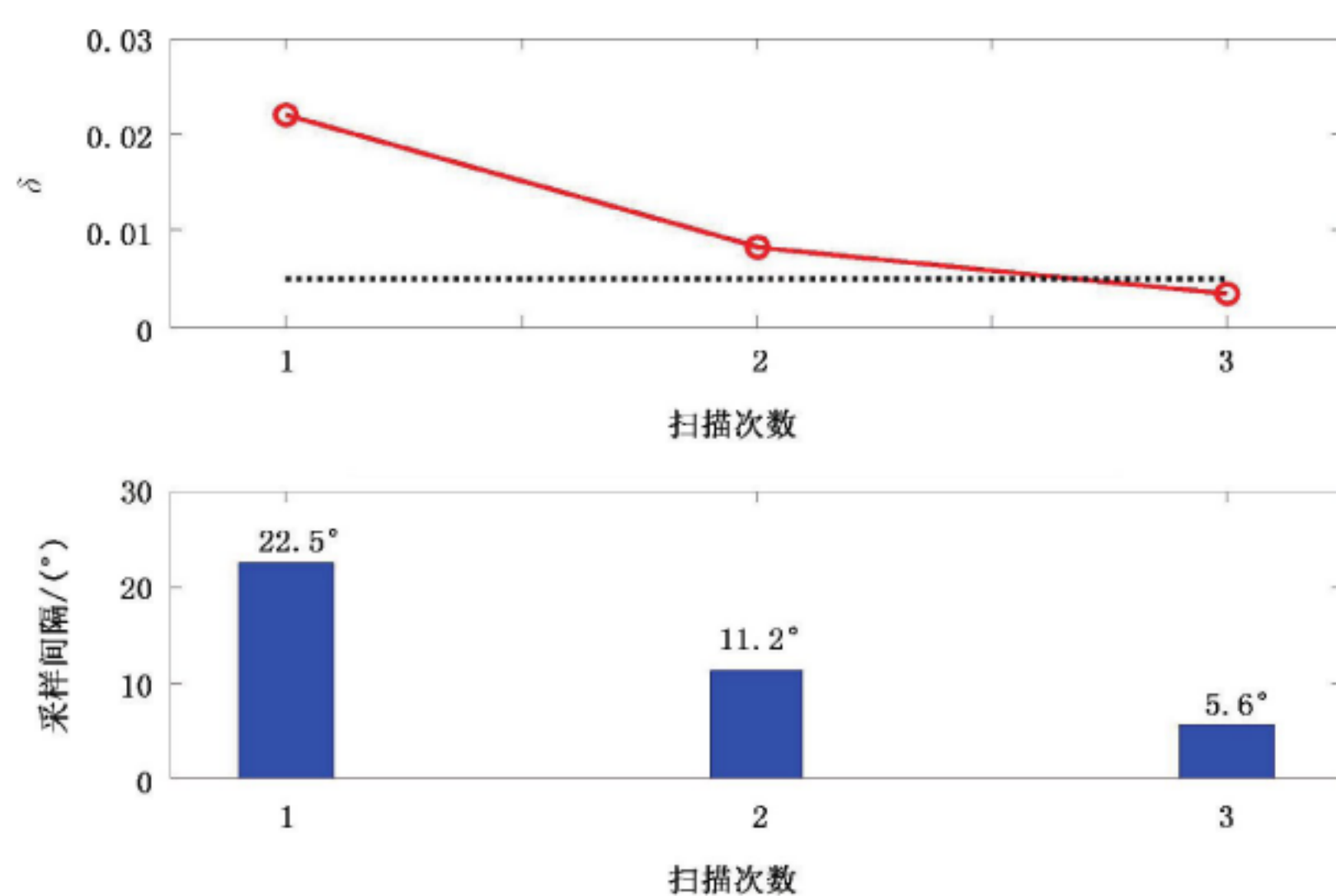


图 C.2 在 465 nm 处的辐射参数变化

图 C.3 在 465 nm 处随采样间隔减小时  $\delta$  的变化

同样的,在不同波长处的最佳采样间隔都可以通过上述方式得到。由此获得的采样间隔分布如图 C.4 所示,该分布表明基于空间光谱分布的最佳采样间隔为  $5.6^{\circ}$ 。



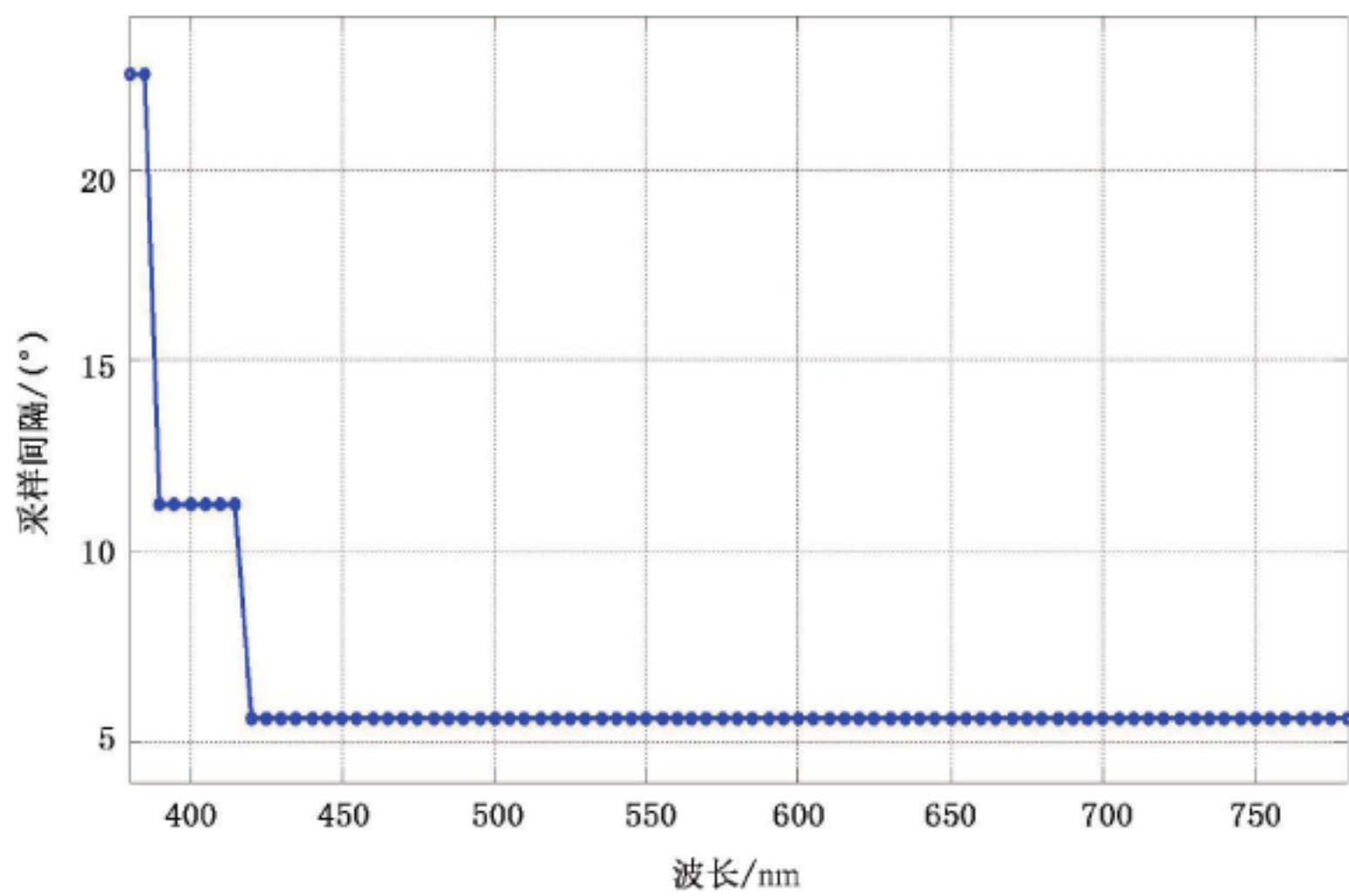


图 C.4 在每个波长处的最合适的采样间隔

C.1.3 信号复现

在  $5.6^\circ$  的采样间隔和  $5\text{ nm}$  的波长间隔下对光谱辐射参数进行复现。复现信号与原始模拟信号之间的绝对误差如图 C.5 所示。

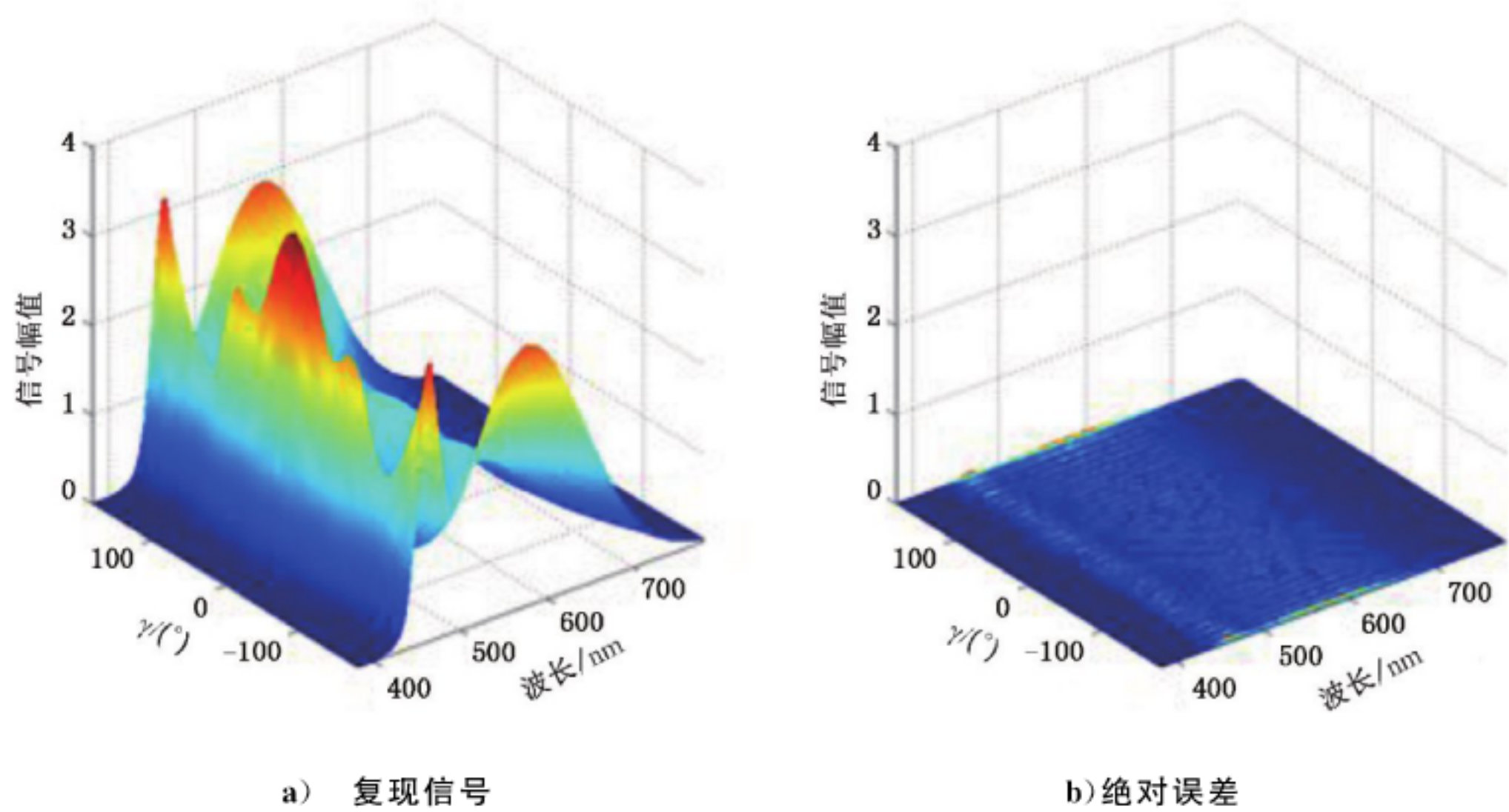


图 C.5 复现信号和绝对误差

C.2 基于 CCT 的采样间隔确定

C.2.1 CCT 分布模拟

在某 C 平面上 5 种不同 LED 光源的 CCT 分布被模拟,如图 C.6 所示。具有均匀分布的噪声被模拟,其幅值是最高 CCT 值的  $1/200$ 。 $\gamma$  的变化范围是  $-180^\circ \sim 180^\circ$ 。



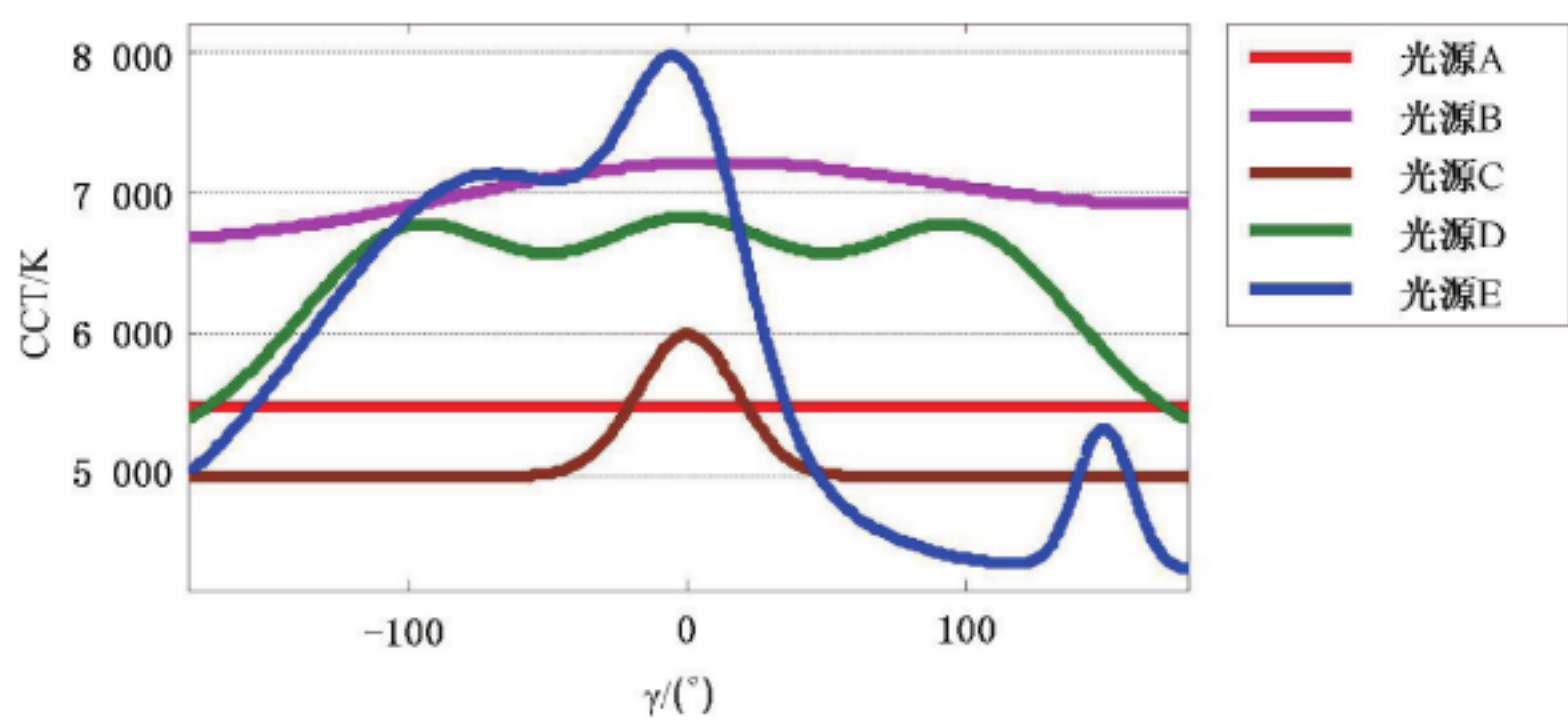


图 C.6 5 种不同 LED 光源的 CCT 分布模拟图

C.2.2 采样间隔确定

初始的采样间隔设置为  $45^\circ$ ,  $\delta_i$  设置为 SNR 的倒数 0.005。随采样间隔减小  $\delta$  的变化在图 C.7 中给出。图 C.7 表明第四种扫描的采样间隔是  $5.6^\circ$  为最佳采样间隔。

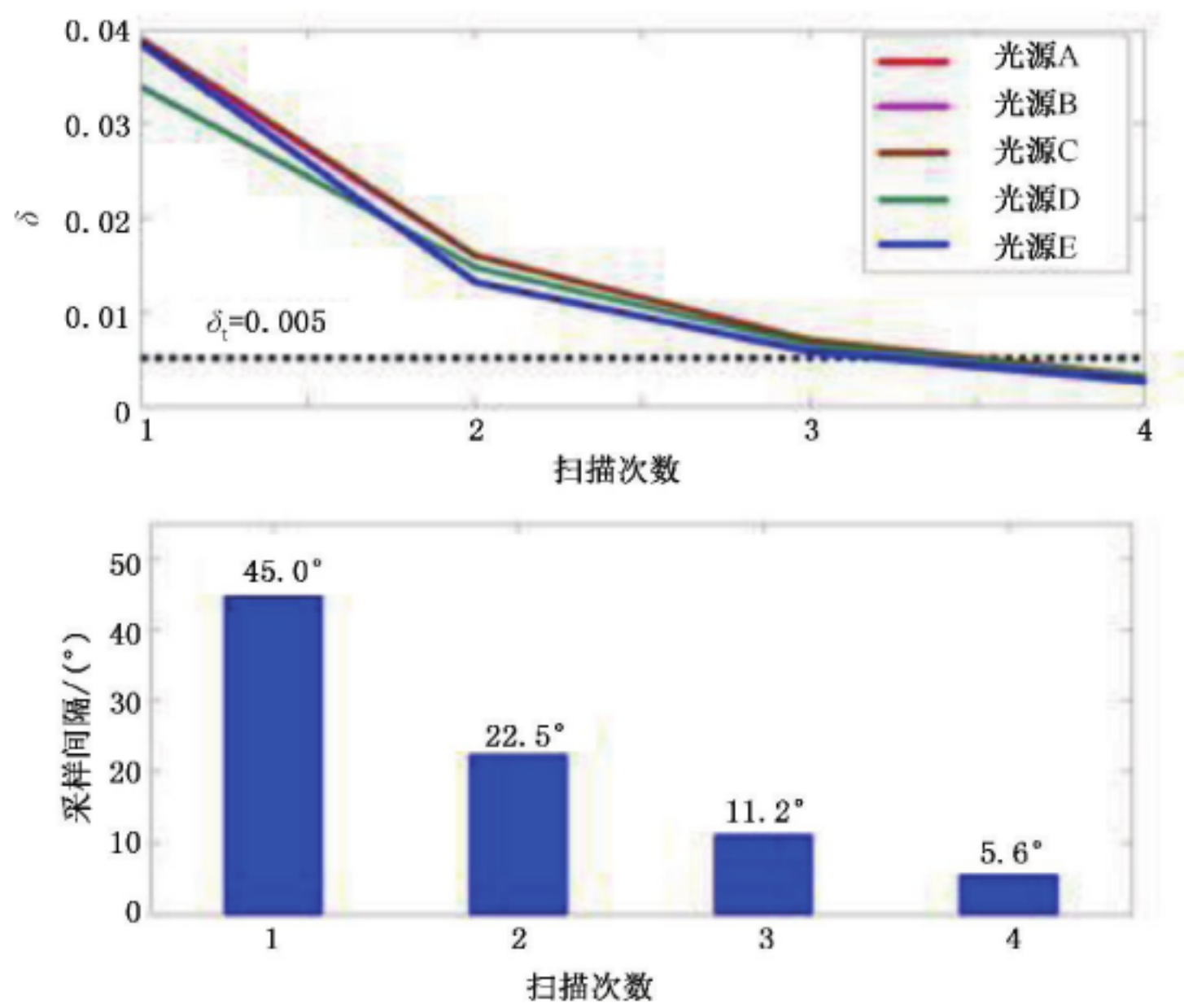


图 C.7 随采样间隔减小  $\delta$  的变化

C.2.3 信号复现

通过 C.2.2 中得到最佳采样间隔后,可以进一步得到复现的信号,其中复现信号和相对误差在图 C.8、图 C.9、图 C.10 中给出。

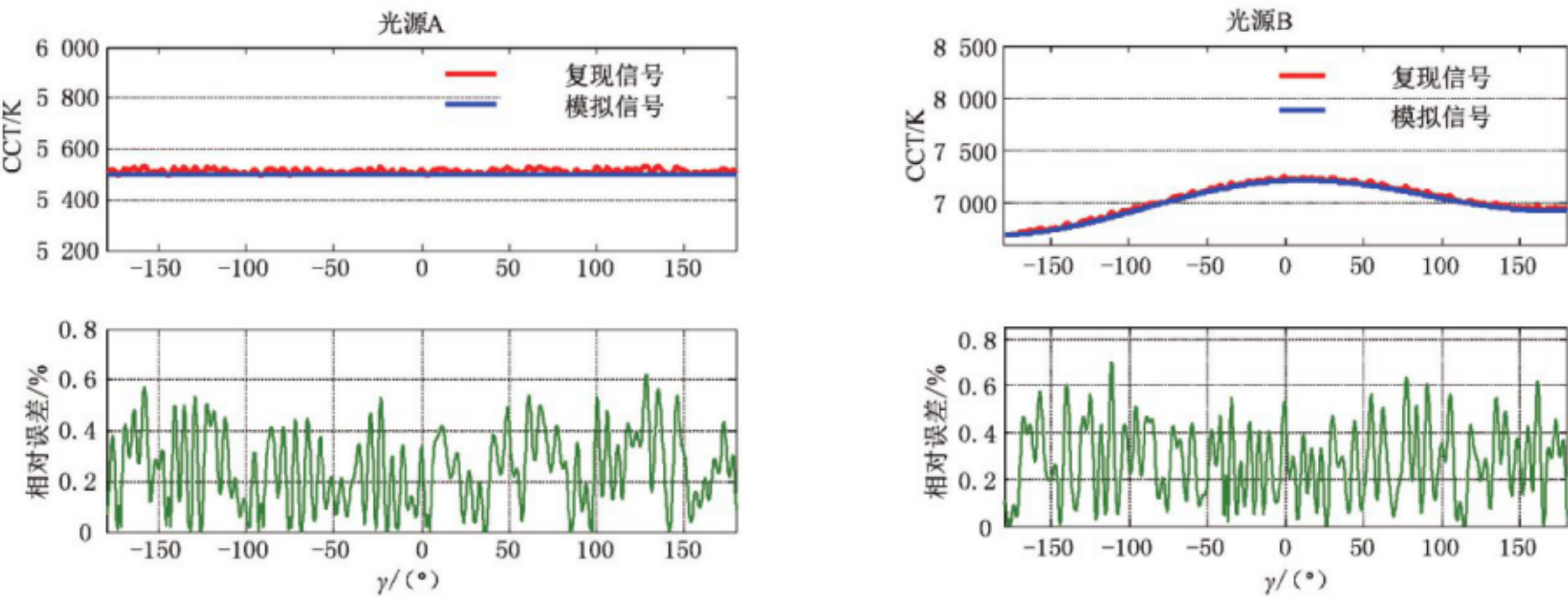


图 C.8 光源 A 和 B 的复现信号和相对误差

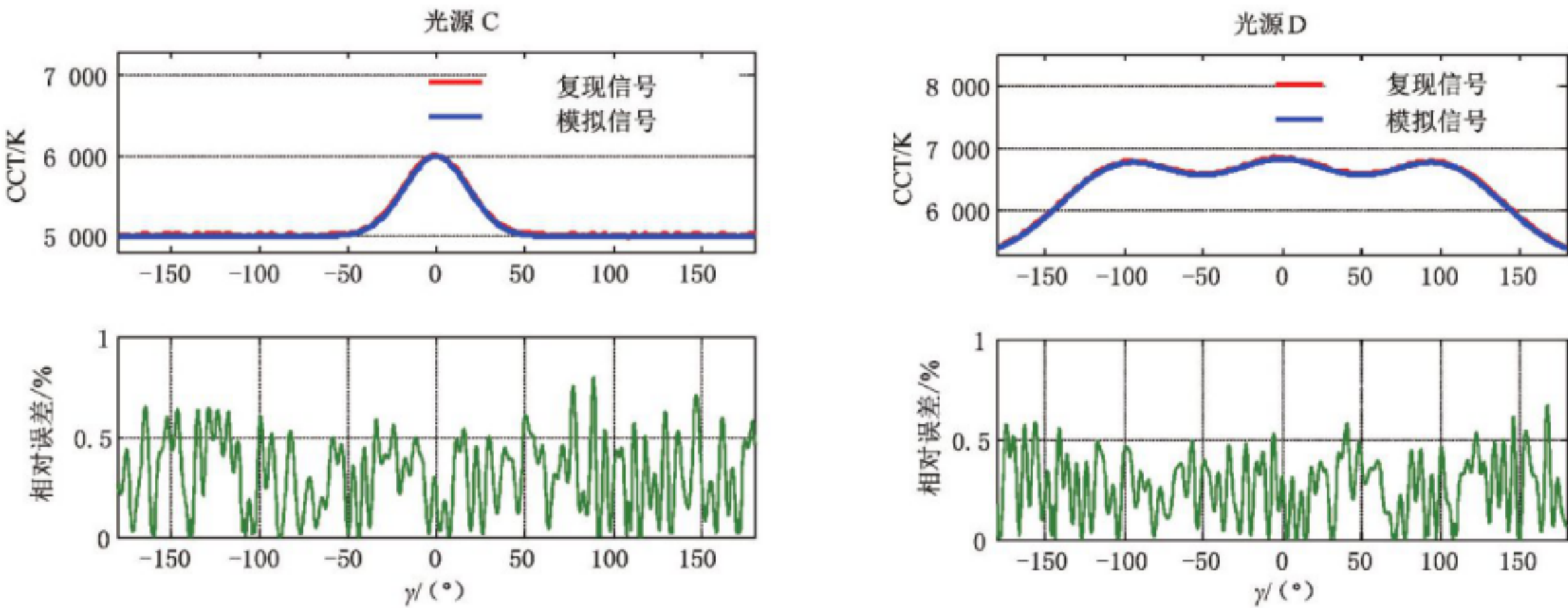


图 C.9 光源 C 和 D 的复现信号和相对误差

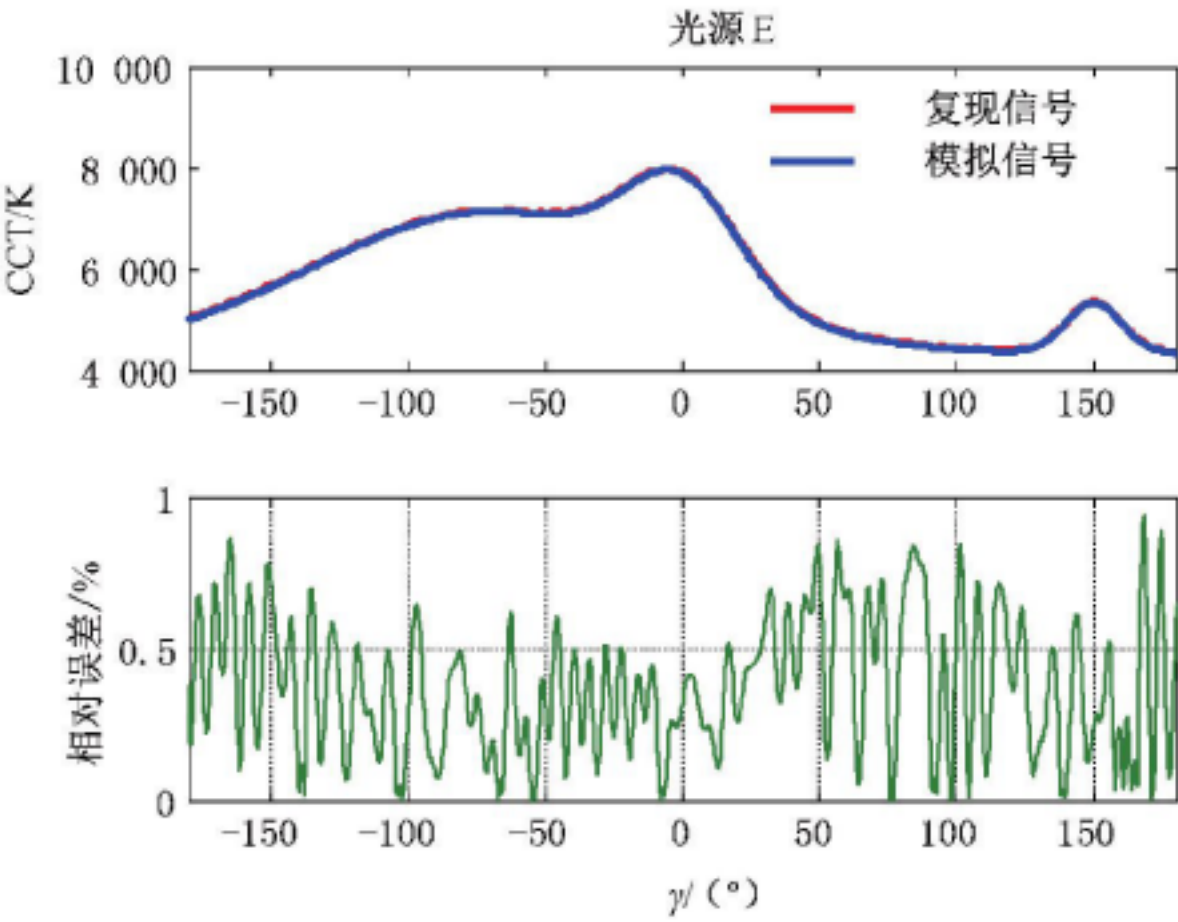


图 C.10 光源 E 的复现信号和相对误差

参 考 文 献

- [1] GB/T 23110—2008 投光灯具光度测试
  - [2] ANSI C78.377—2015 电灯 固态照明产品的色度指标 (Electric lamps—Specifications for the chromaticity of solid-state lighting products)
-



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
**LED 产品空间颜色分布测量方法**  
GB/T 36979—2018

\*

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)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

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

服务热线: 400-168-0010

2019年1月第一版

\*

书号: 155066 • 1-61882

版权专有 侵权必究



GB/T 36979-2018