



LED 的光测量

目录

1. 前言	2
2. 光通量测量方法	2
3. 积分球	2
4. 分布光度计	5
5. 量值溯源	10
6. 最后	11

日本日亚化学工业株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

491 Oka, Kaminaka-Cho, Anan-Shi, TOKUSHIMA 774-8601, JAPAN

Phone: +81-884-22-2311 Fax: +81-884-21-0148

1. 前言

近年 LED 被用于照明等多种多样的产品中。为了让 LED 灯具的亮度、颜色等性能达到预期要求，适当的设计和评价非常重要，而在设计和评价的性能确认中测量是非常重要的手段。因为通过测量所得的数值可以对产品性能做定量评价，所以可以说测量是产品制造的基础。但是测量结果受仪器、环境等多种因素的影响，因此为了保证测量精度，不仅对 LED 的特性也应该对“测量”进行充分理解。在本应用指南中将对 LED 评价时常实施的光通量测量中的注意事项及测量仪器的量值溯源方法进行介绍。

2. 光通量测量方法

光通量通常使用积分球和分布光度计的两种方法测量。如表 1 所示，两种方法各有长短，应该根据被测光源的种类及测量内容选择使用。在本应用指南的项目 3、4 中将对各测量方法的注意点进行介绍。

表 1. 测量方法的比较

	积分球	分布光度计
长处	<ul style="list-style-type: none"> • 测量时间短。 • 不需要暗室及大型设备。 	<ul style="list-style-type: none"> • 可以测量配光特性。 • 可以测量较大尺寸的光源。
短处	<ul style="list-style-type: none"> • 被测光源的尺寸受积分球大小限制。 • 会因被测光源的自吸收导致测量误差。 	<ul style="list-style-type: none"> • 测量时间长。 • 需要暗室及大型设备。

3. 积分球

3.1. 关于积分球

积分球是球状的光色测量设备。积分球内壁表面喷涂有反射率高的涂料，这样从光源射出的光在积分球内发生多次漫反射后，均匀照射在球壁上。因为球壁上的照度均一，所以可以不受发光方向的影响，通过测量积分球内壁上的照度得到光通量。（如图 1 所示）

因为积分球的测量时间短，而且不需要暗室及复杂的仪器，所以是光通量测量中最常用的设备。但是被测光源的尺寸受积分球大小的限制，所以多用于较小尺寸的光源中。

另外日亚产品的规格书中所记载的光通量、色度及显色性等光学特性（典型值）都是使用积分球测量所得的结果^{※1}。

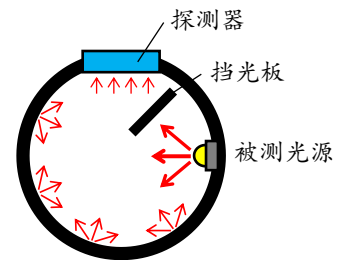


图 1. 积分球概略图

3.2. 测量中的注意点

积分球测试系统的构成例如图 2 所示。积分球是使用分光仪、照度计等对球内充分均匀扩散的光测量。通过和有明确值的标准光源比较取得被测光源的测量值。另外为了避免直接光被探测器采集导致较大的测量误差，积分球中会设置挡光板，使光不会直接照射在探测器上。除此之外，还有其他多种原因可能加大测量误差和不确定度。

在本项中将对其他原因中的 1) 积分球的种类、2) 积分球的大小、3) 自吸校正、4) 标准光源的种类、5) LED 的温度特性进行介绍。

※1 日亚产品在量产的特性选别时也可能使用积分球外的和日亚基准器进行了量值传递的测量仪器。

本文包括暂定内容，日亚公司有权不经公告对其进行修改。

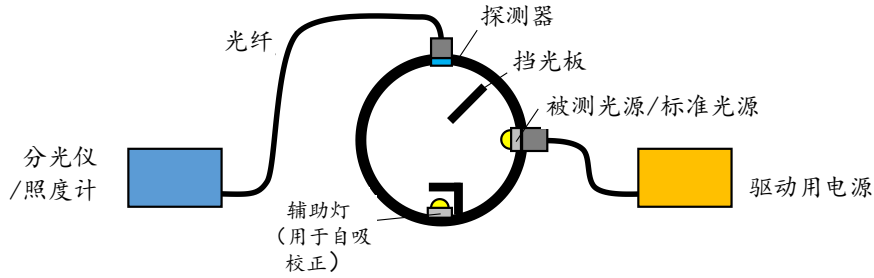


图 2. 积分球测量系统构成例

1) 积分球的种类

积分球在结构上通常分为 2π 结构和 4π 结构。 2π 结构的积分球用于 2π 测量，也就是测量只向前方 180° 范围内发光的光源。而 4π 结构的积分球用于 4π 测量，也就是测量向 360° 全方向发光的光源。 2π 测量不需要测量光源向后方发出的光，所以可以使用较小尺寸的积分球，但是这种小尺寸积分球能够测量的光源有限。因此在决定积分球时应考虑被测光源的发光方向进行选择。

作为参考，如图 3 所示只向前方发光的表面贴装型 LED（图 3-(a)）可以使用 2π 结构的积分球测量，但是像白炽灯、荧光灯等传统光源（图 3-(b)）、宽配光 LED、LED 照明灯具（图 3-(c)）不仅向前方发光，也向后方也发光，所以需要使用 4π 结构的积分球测量。

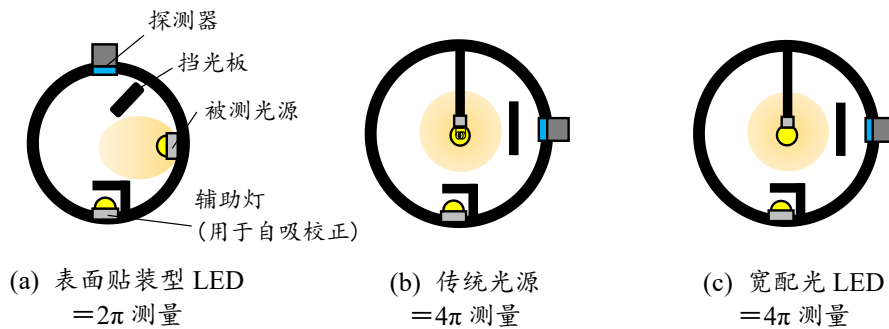


图 3. 积分球种类示意图

2) 积分球的尺寸

应根据被测光源的大小选择适当尺寸的积分球。通常测量数 mm 大小的 LED 时选用直径为数 cm~数十 cm 的积分球。而对于大型照明灯具或长度超过 1m 的灯管等则应选用直径为 2~3m 的积分球。

如果相对积分球的尺寸被测光源过大，可能因内壁面上的漫反射次数减少，使壁面上照度的均匀程度降低导致测量精度下降，也会使被测光源表面吸收的光增加导致测量精度下降（详见下一项的“3) 自吸校正”）。IESNA LM79 标准中推荐在使用 4π 测量积分球时，被测光源的总表面积不能超过球壁总面积的 2%，另外对于细长形的光源则光源的最长尺寸必须小于积分球直径的 $2/3$ 。

如果被测光源的功率较大，则需要考虑光源发热对测量结果的影响。积分球内壁温度的上升会加大测量误差，所以需要积分球有足够大空间抑制温度升高。作为参考，对于功率为 500W 的光源，IESNA LM79 标准中推荐使用直径在 2m 以上的积分球。

3) 自吸校正

积分球测量时需要考虑被测光源的发光面、模组表面等吸光（自吸收）所导致的光通量下降。特别在被测光源模组的表面积大，或为容易吸光的黑色时，更容易导致光通量下降。因此为了减少光源自吸收对测量值的影响，需要在测量时对自吸收进行校正。

自吸校正系数可以使用积分球中不同于标准光源的自吸校正用辅助灯（如图 2 所示），由方程式 1 算出。然后让被测光源的测量值乘以此校正系数就可对自吸收导致的光通量下降量进行校正。

$$\text{自吸校正系数 } \alpha = \frac{i_{s,1} / i_{s,0}}{i_{t,1} / i_{t,0}} \quad \dots \text{ (方程式 1)}$$

方程式中各符号的含义如下。

- α: 自吸校正系数
- i_{s,0}: 点亮相对光谱功率分布和标准光源相同的辅助灯，且积分球内不设置标准光源时的探测器光输出量。
- i_{s,1}: 点亮相对光谱功率分布和标准光源相同的辅助灯，且积分球内有设置标准光源时的探测器光输出量。
- i_{t,0}: 点亮相对光谱功率分布和被测光源相同的辅助灯，且积分球内不设置被测光源时的探测器光输出量。
- i_{t,1}: 点亮相对光谱功率分布和被测光源相同的辅助灯，且积分球内有设置被测光源时的探测器光输出量。

4) 标准光源的种类

和被测光源进行测量比较的标准光源应该选择与被测光源相近的光源，并且应该让标准光源和被测光源的安装位置和照射方向相同。安装方法不同会加大配光特性、光分布特性的差异，导致较大的测量值误差。

5) LED 的温度特性

LED 亮灯时的发热会使 LED 的结点温度升高。而在 LED 的温度特性上，随着结点温度的升高光通量会发生变化。结点温度的上升除了受 LED 本身性能的影响外，也会受电路板、测量环境等外在因素影响，所以在测量中为了让测量值接近 LED 本身的性能，需要抑制结点温度的上升。缩短测量中的亮灯时间可以有效抑制结点温度的上升。相对不同亮灯时间（脉冲宽度）的结点温度和光通量变化的评价结果如图 4 所示。从此结果可以看出，测量时的亮灯时间越短结点温度的上升和光通量的下降幅度越小。但是应该注意即使是 1msec 的非常短时间的亮灯，也可能使光通量发生下降。另外在高电流驱动下因为 LED 发热量会增加，所以即使亮灯时间相同，结点温度也会比低电流驱动下时更高。

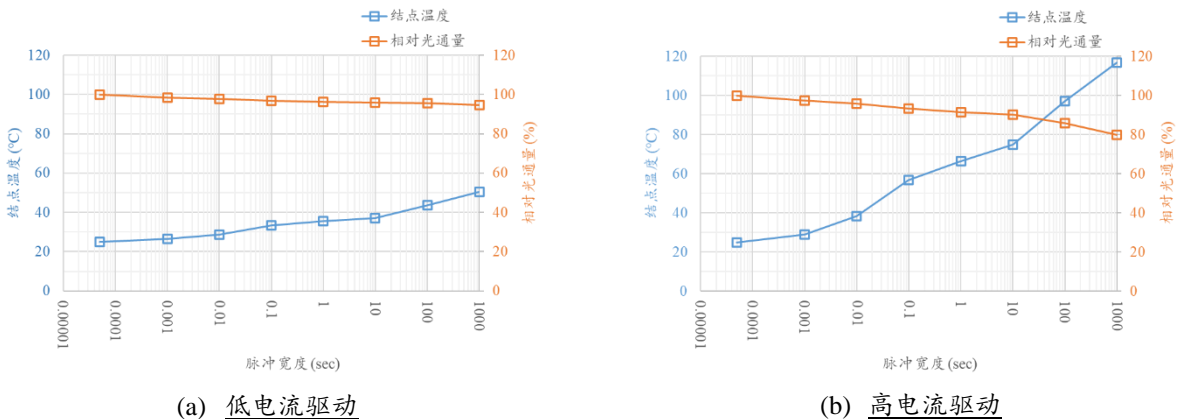
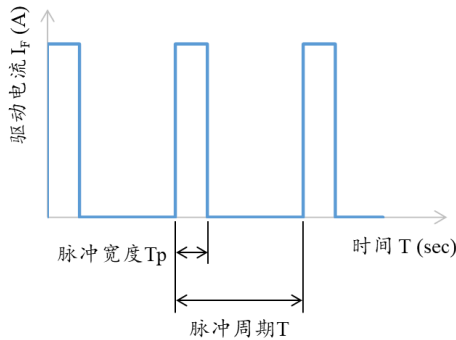


图 4. 不同亮灯时间（脉冲宽度）下的结点温度、光通量变化例 (型号 NCSW170F/Ta=25°C)

日亚为了抑制结点温度的上升，测量时使用了图 5 中的脉冲电流驱动^{※2}。脉冲宽度仅为 0.05msec，非常短，并且占空比也仅为 1%，所以由此导致的结点温度上升非常小。



项目	符号	数值
脉冲宽度	T_p	0.05 msec
脉冲周期	T	5 msec
占空比	$D=T_p/T$	1%

图 5. 日亚测量条件

另外如果需要考虑 LED 发热导致结点温度上升，则不能使用图 5 中的脉冲条件驱动，而是使用实际灯具内的电源，在灯具组装完成后的最终产品状态，且实际使用时的灯具朝向下驱动较长时间，让结点温度和光输出达到安定状态后再进行测量。

4. 分布光度计

4.1. 关于分布光度计

分布光度计是让光源或探测器转动，以能对任意方向下的光强度进行测量的仪器。通常都是用于测量配光特性，但是也可以从测量到的光强度计算出所有立体角的光通量后将其相加，得到被测光源的光通量。

分布光度计和积分球不同，不用考虑自吸收导致的测量值误差，另外光源的发热也不会影响测量仪器，所以有利于大型、大功率灯具的测量。

但是分布光度计的测量时间较长，而且需要暗室等对测量环境的要求较高。因此在只需要测量光通量时，多使用测量速度快的积分球测量。

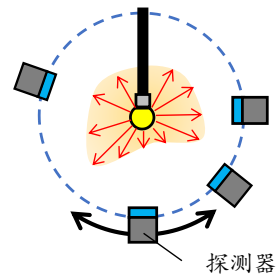


图 6. 分布光度计示意图

4.2. 配光特性的种类

配光特性分为远场分布光特性和近场分布光特性。因为这两种特性的测量方法、数据性质的差异较大，因此应该根据光源种类和测量目的进行选择。

1) 远场分布光特性

远场分布光特性是指距离光源较远时观察到的配光特性。因为测量距离足够远，所以被测光源被视为点光源。从 LED 等小型光源到照明灯具、汽车前照灯等各种各样的光源都使用此特性。通常所说的配光特性一般都是指此远场分布光特性。

日亚产品的规格书中记载的配光特性也都是远场分布光特性（如图 7 所示）。

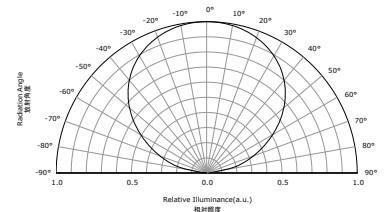


图 7. LED 配光特性例

※2 脉冲宽度、周期和占空比可能因产品不同而变化。

2) 近场分布光特性

近场分布光特性是将光源视作有一定尺寸和形状的面光源。一边改变光源的朝向，一边对发光面内的亮度分布进行测量。近场测量可以知道光源的哪个部位向哪个方向发光，所以测量结果主要用于对 LED 等发光元件进行光学模拟仿真时需要的光线数据的制作中（如图 8 所示）。

日亚可以提供各种模拟仿真用光线数据。如有需要请向日亚营业所咨询。

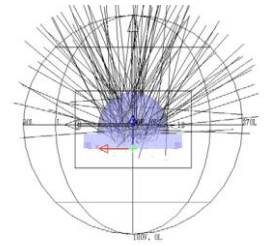


图 8. LED 光线数据例

4.3. 测量坐标系统

配光特性测量中使用的坐标系统如图 9 所示。通常都是根据评价光源的种类和目的从这 3 种坐标中选择。但是必须注意各测量仪器对应的坐标系统不同，所以应该根据测量仪器选择相适应的坐标系统（关于分布光度计的种类请参照项目 4.4 的“分布光度计的种类和特征”）。

图 9-(a) 的 $\theta\phi$ 坐标系统以垂直于光源发光面的轴为极轴（自转轴），相对极轴的倾斜角为 θ ，将极轴作为自转轴时的旋转角度为 ϕ 。此坐标系统相当于 CIE121 的 C-Plane，是在配光测量中最常用的坐标系统。分布光度计也多使用此坐标系统。

除 $\theta\phi$ 坐标系统外，也有将和发光面呈水平的轴作为极轴的 xy 坐标系统和 $\alpha\beta$ 坐标系统。 xy 坐标系统相当于 A-Plane， $\alpha\beta$ 坐标系统相当于 B-Plane。

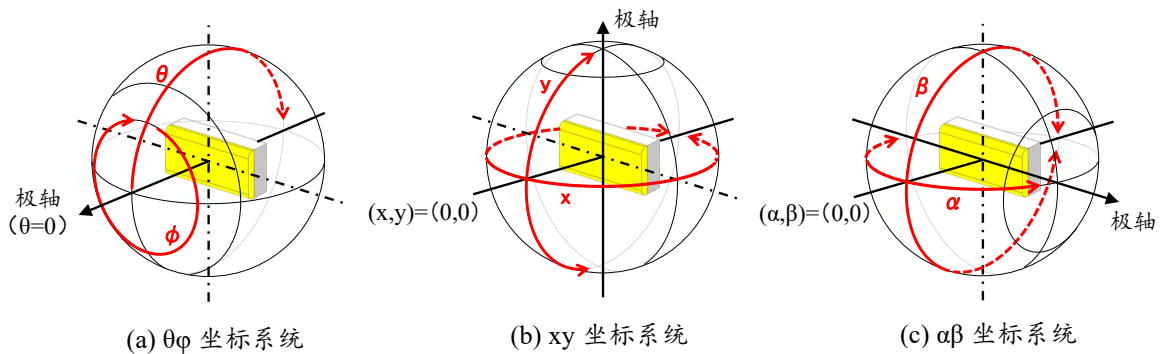


图 9. 配光测量的坐标系统

4.4. 分布光度计的种类和特征

分布光度计由让被测光源、探测器旋转的测角仪，及照度计、分光器等构成。测角仪根据构造、转动方法等不同多种多样。本项中将对有代表性的光源转动式、探测器转动式、反光镜式的3种（如图10所示）进行说明。

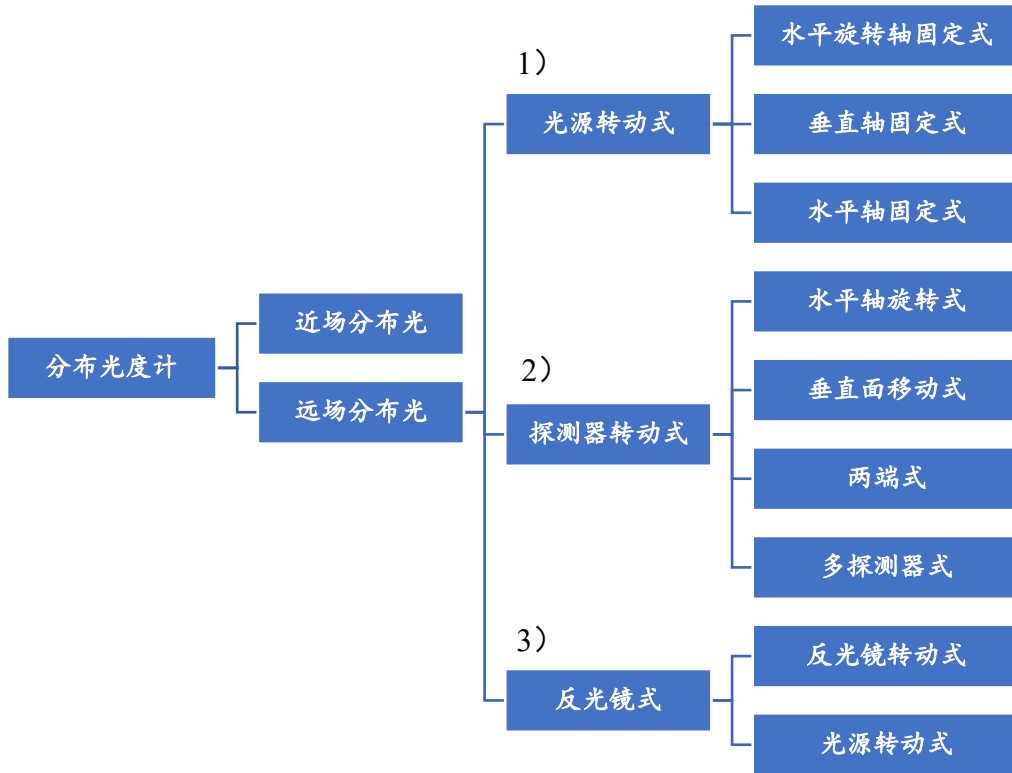


图 10. 分布光度计（测角仪）代表种类

1) 光源转动式

光源转动式是探测器处于固定状态，通过转动被测光源来进行测量的分布光度计。根据光源的转动方向，分为水平转动轴固定式、垂直轴固定式和水平轴固定式。如图 11-(a)的水平转动轴固定式，光源被固定在和探测器呈水平的高度上。因为在绕垂直轴及绕水平轴方向上转动，所以对应 $\theta\phi$ 坐标系。如图 11-(b)的垂直轴固定式，光源被固定在垂直轴上，因为在绕垂直轴、水平轴上转动，所以和 xy 坐标系统、 $\alpha\beta$ 坐标系统相对应。另外水平轴固定式也固定在水平轴上，和 xy 坐标系统、 $\alpha\beta$ 坐标系统相对应。

光源转动式的构造虽然简单，但是为了抑制转动时发生的振动，需要较大型、有一定重量的测角仪。另外因为测量中的光源朝向变化较大，测量值可能受重力的影响，这时需要对由此导致的光输出量的差异进行校正。

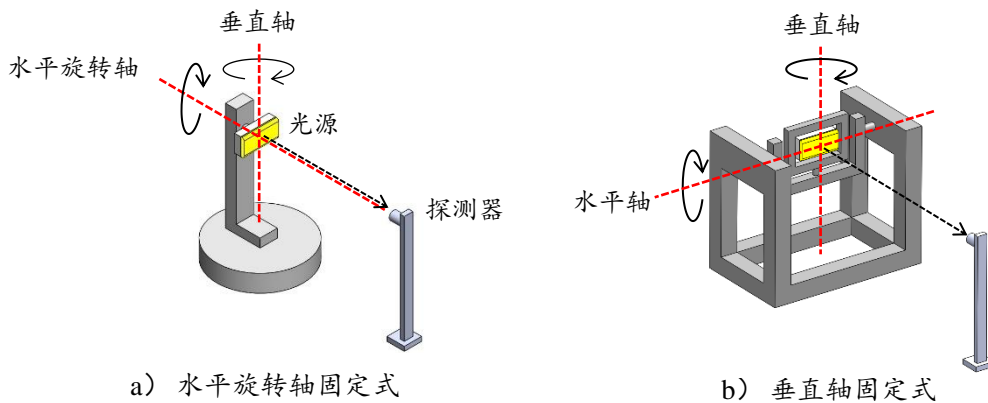


图 11 光源旋转式构成例

2) 探测器转动式

让光源和探测器双方转动，对配光进行测量。根据探测器的转动方法分为水平轴转动式、垂直面移动式、两端式和多探测器式。图 12-(a)的水平轴转动式，探测器以水平轴为中心转动，光源以垂直轴为中心转动。而图 12-(b)的多探测器式，以光源为中心的转动轨道上配置有复数的探测器，这样探测器不需要转动就可以测量从而缩短测量时间。

在构造上，因为光源和探测器间的距离较近，仅限于测量 LED 等小型光源，但是因为小型、测角仪和探测器的一体化，所以较其他分布光度计更容易设置。

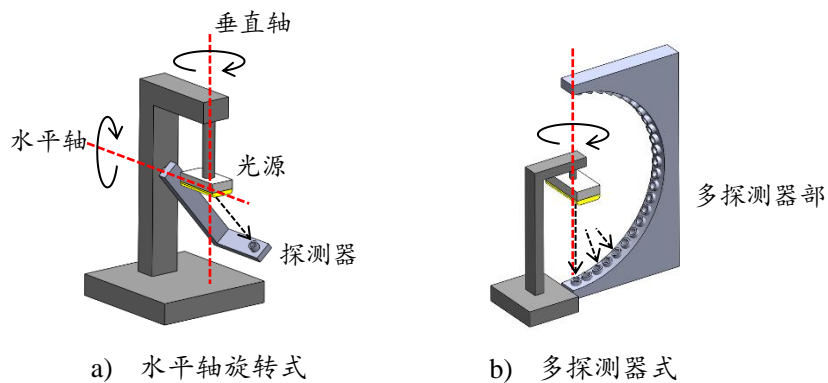


图 12. 探测器转动式构成例

3) 反光镜式

对从反光镜反射的光进行测量。分为被测光源固定转动反光镜,和以反光镜为中心(反光镜固定)转动光源的两种。这两种都是通过反光镜测量所以可以缩短测量中光源和探测器间的距离。例如如图 13 所示,反光镜式是在让光源绕垂直轴转动的同时,也让反光镜在其周围转动。这时如果让光直接射入探测器可能造成测量值误差,所以在测量直射光时需要设置挡光板。

此结构使用了较大尺寸的镜子,不容易保养,并且镜子上的灰尘等容易使测量结果出现误差,另外也可能因反光镜导致偏光。因此使被测光源受到了限制。

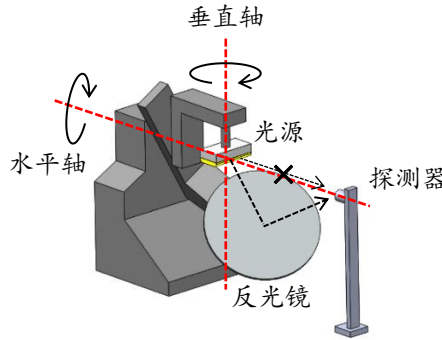


图 13. 反光镜式构成例

4.5. 测量时的注意事项

通过测量配光得到光通量的测量系统构成例如图 14 所示。因为分光器和照度计只测量直接射入到探测器中的光,所以使用测角仪转动光源或探测器,可以对任意角度下的发光进行测量。但是如果转动时改变的角度过小,那么取得的数据就会很多,需要大量时间测量。

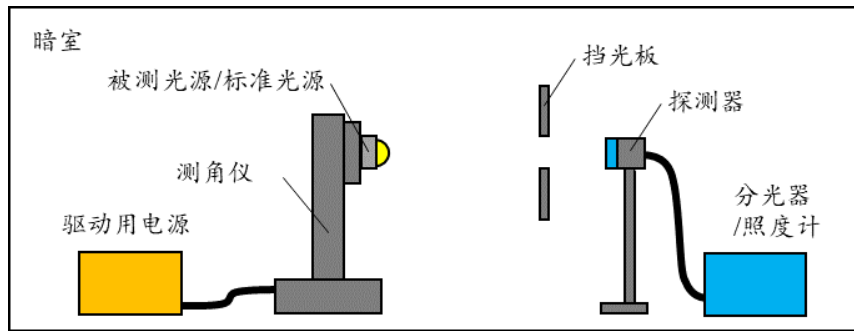


图 14. 分布光度计测量系统的构成例

在本项中,将对分布光度计测量中造成误差的原因 1) 测量角度、2) 测量距离、3) 标准光源的种类、4) LED 的温度特性进行介绍。

1) 测量角度

测量角度数过少可能不能取得正确的配光特性和光通量。虽然可以通过增加角度数(缩小测量间隔)提高测量结果的准确度,但是如果将测量数增加到 2 倍,测量时间也会增加至 2 倍,所以只是单纯地增加测量数并不就是好办法。为了有效进行测量,可以加大光输出量变化小部分的测量间隔等,根据被测光源的配光设定适当的测量间隔。

2) 测量距离

在远场分布光测量中，需要确保被测光源和探测器间有充分的距离。因为在远场分布光的测量中将被测光源视为点光源，所以需要被测光源和测量仪器间的距离至少在光源最大尺寸（长边）的5倍以上。

3) 标准光源的种类

分布光度计和积分球的测量方法相同（第3.2项的“4）标准光源的种类”），需要和标准光源进行比较测量。因此应该使用和被测光源相近的标准光源。

4) LED 的温度特性

分布光度计和积分球测量相同（第3.2项中的“5）LED 的温度特性”），分布光度计也需要考虑LED 的温度特性。所以为了减少受热的影响，应该使用脉冲电流驱动，或在让光源达到热饱和，光输出量没有变化的状态下测量。另外配光特性测量需要较长的时间，为了不让周边温度随驱动时间的加长而发生变化，需要让暗室温度保持一定。

在让被测光源达到热饱和状态下的测量中，使用光源转动式（第4.4项的“1）光源转动式”）时，被测光源朝向的变化可能不能发挥本有的散热性能，因此这时需要对此造成的光输出量的差异进行校正。

5. 量值溯源

5.1. 量值溯源和测量值不确定度

为了取得正确的测量结果，测量仪器的校正非常重要。测量仪器的校正需要使用标准仪器，而此标准仪器也需要根据被正确管理的上层标准仪器校正。这样经过层层精确校正，最终可取得和国家标准器（或国际标准器）的量值传递。这一连串校正体系被称为量值溯源。

在JIS Z 8103中将量值溯源定义为“是通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链，使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准联系起来特性”。因此量值溯源中的校正必须满足“各阶层的不确定度的明确化”、“到国家标准为止的不间断比较”、“校正流程和结果的文件化”等条件。

另外在JIS Z 8103中将不确定度定义为“表征合理地赋予被测量之值的分散性、与测量结果相联系的参数”。是表示测量所得数值存在于距离真值多大范围（偏差）内的指标。在光通量测量中发生不确定度的原因，包括测量仪器的个体差异、测量噪声、测量环境（温度、湿度）等。

5.2. 日亚的量值溯源体系

日亚的量值溯源体系如图15所示。日亚产品在最终出货时的不确定度包括从国家标准到日亚量产间的所有不确定度^{*3}。此不确定度只是表示和国家标准器之间的差异，不包括和其他测量机关测量结果间的差异。

*3 日亚产品规格书中记载的公差是由日亚量值溯源中确认的不确定度决定。

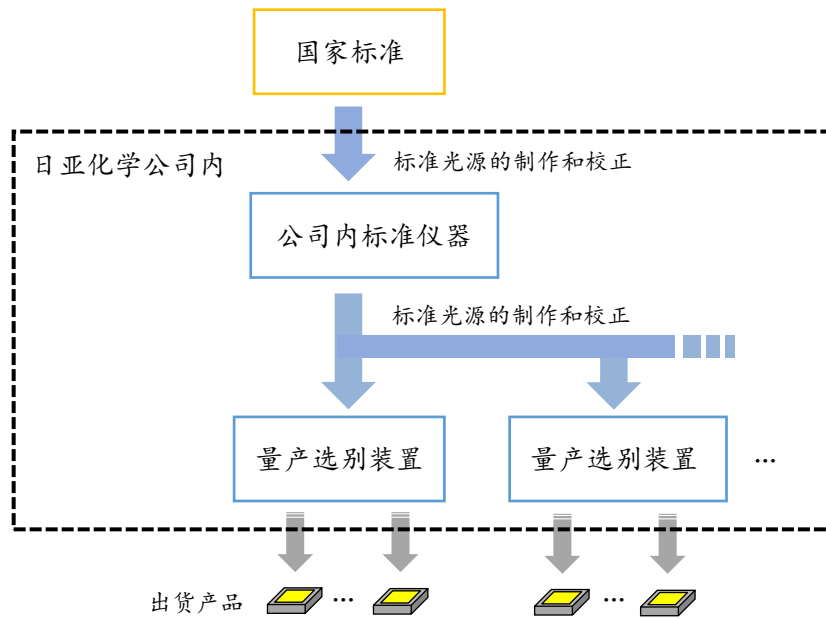


图 15. 日亚的量值溯源体系

6. 最后

在本应用指南中对积分球和分布光度计的测量方法进行了介绍。这两种测量方法都各有优点和缺点，应该根据测量光源的性质和评价目的进行选择。

另外可能导致测量值误差的因素很多。为了减少误差的发生，不仅应让测量的环境和方法适当，也应该在灯具设计中让目标性能留有一定余地。

参考文献

- IESNA LM79 IESNA Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products
- CIE 121 The Photometry and goniophotometry of luminaires
- JIS C 8105-5 照明器具-第 5 部：配光测量方法
- JIS C 8152 照明用白光二极管(LED)的测光方法
- JIS Z 8103 计测用语

免责声明

本应用指南由日亚提供，是日亚制作及管理的技术参考资料。

在使用本应用指南时，应注意以下几点。

- 本应用指南中的内容仅供参考，日亚并不对其做任何保证。
- 本应用指南中记载的信息只是例举了产品的代表性能和应用例，并不代表日亚对日亚及第三者的知识产权及其他权利进行保证，也不代表同意对知识产权授权。
- 关于本应用指南内容，虽然日亚有注意保证其正确性，但是日亚仍然不能对其完整性，正确性和有用性进行保证。
- 因本应用指南的利用、使用及下载等所受的损失，日亚不负任何责任。
- 本应用指南的内容可能被日亚修改，并且可能在变更前、后都不予通告。
- 本应用指南的信息的著作权及其他权利归日亚或许可日亚使用的权利人所有。未经日亚事先书面同意，禁止擅自转载、复制本应用指南的部分或所有内容等（包括更改本应用指南内容后进行转载、复制等）。