

PWM 光与高亮度测量产生误差的原因及其对策

— 通过使用 ND 滤光片实现低于 0.1%的再现性 —

亮度色度均匀性测定仪 UA-20/UA-10A 系列，广泛应用于研发部门的辅助测量以及量产过程中的评估，用于多种光源的性能测试。

当被测光源的物理能量高而亮度低，或者光源采用 PWM（脉宽调制）方式时，可能会出现再现性降低或过量程（Over Range）的情况。

在此条件下，使用 ND 滤光片（中性密度滤光片，Neutral Density Filter）对于保证测量的再现性与可靠性至关重要。

通过使用 ND 滤光片降低入射光强，可以使测量范围按滤光片的减光率向高亮度方向扩展。

以下介绍其技术背景与具体效果。

1. 短波长光源测量中的问题与 ND 滤光片的效果

蓝光的光谱分布

亮度计在 380~780nm 的可见光范围内 依据人眼的视感度曲线（标准光谱视感效率） $V(\lambda)$ 进行评价。

因此，对于视感度较低的波段（如蓝光或红光）或白光中蓝光成分较强的光源，即使其物理光强较高，测得的亮度值也可能偏低（见图 1）。

例如，蓝色分量峰值较高的光源，即使看似在亮度计的测量范围内，传感器内部的蓝光波段可能输入过强，从而导致过量程。

ND 滤光片可有效降低高亮度光的强度，使传感器在适当的范围内进行积分，从而避免过量程并获得正确的测量值。

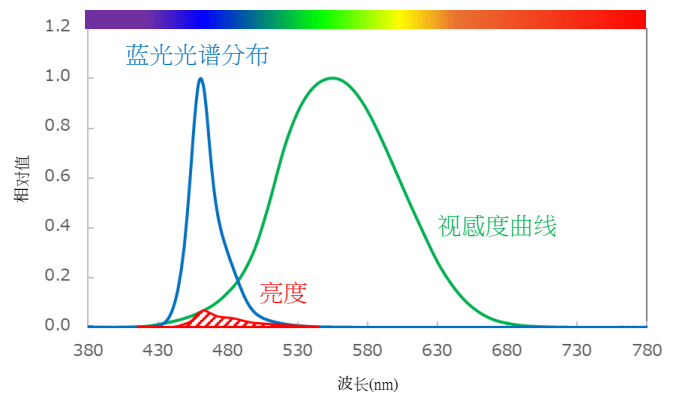


图 1 视感度曲线与蓝光光谱分布

2. PWM 光源测量的注意事项与 ND 滤光片的作用

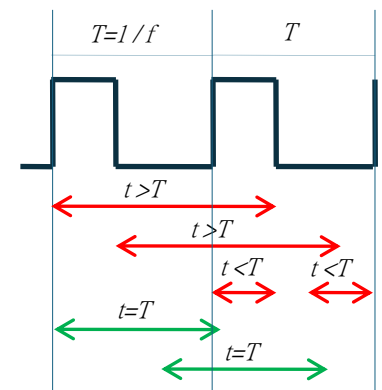
PWM 光源以固定周期（ $T = 1/f$ ）进行闪烁。

UA-20/UA-10A 系列亮度计的传感器在一定的积分时间（ t ）内接收光信号。

当积分期间光量过大时，传感器会饱和，导致无法准确积分亮度。

在测量开始时，仪器会先进行扫描，根据亮度计算合适的积分时间。如果实际光量高于计算值，会被判定为过量程并停止测量。

ND 滤光片通过适当降低光量，使传感器能够在一个积分周期内积累足够的 PWM 周期，从而显著提高 PWM 光测量的重复精度与可靠性。



T: 一个周期的时间、f: 频率、t: 积分时间、理想情况下，积分时间 t 内应包含多个 PWM 周期（绿色箭头：良好；红色箭头：不良）

3. ND 滤光片的使用建议

- UA-20 系列参数

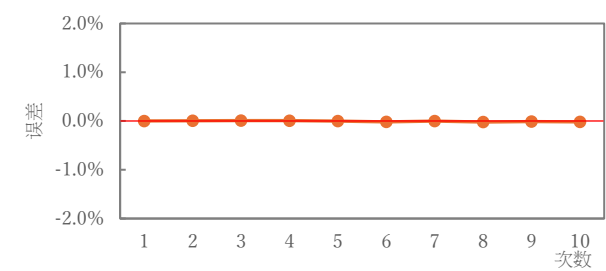
 - 测量亮度范围：0.01~50,000 cd/m²（标准光源 A）
 - 重复精度：亮度 0.3%（≥0.1 cd/m²）
 - 使用 ND1%滤光片时：5~500 万 cd/m²
 - 使用 ND0.01%滤光片时：500~5 亿 cd/m²
- UA-10A 系列参数

 - 测量亮度范围：0.1~80,000 cd/m²（标准光源 A）
 - 重复精度：亮度 0.4%
 - 使用 ND1%滤光片时：10~800 万 cd/m²
 - 使用 ND0.01%滤光片时：1,000~8 亿 cd/m²

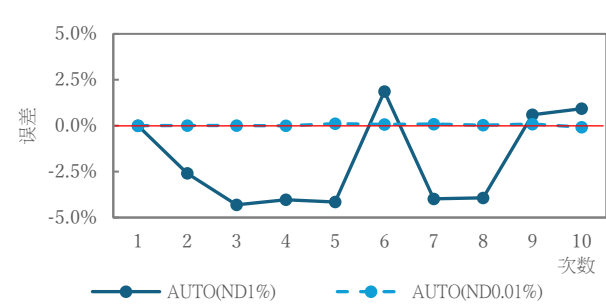
4. 实测例——ND 滤光片提升再现性效果

测试条件	滤光片设置	测量结果（重复精度）
4,200 cd/m ² （DC 驱动）	无 ND（AUTO）	0.02%
4,200 cd/m ² （60Hz, PWM 50%）	无 ND（AUTO）	无法测量（过量程）
同上	ND1%（AUTO）	約 5.1%
同上	ND0.01%（AUTO）	約 0.11%
同上	无 ND（60Hz 设定）	无法测量（过量程）
同上	ND1%（60Hz 设定）	約 0.08%
同上	ND0.01%（60Hz 设定）	約 0.08%

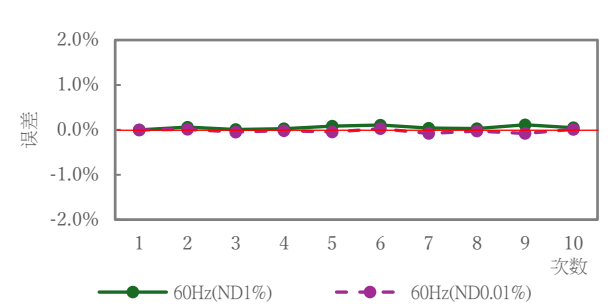
例 1）4,200 cd/m² DC 驱动 无 ND-AUTO 设定的再现性



例 2）4,200 cd/m² ND1%/0.01%-AUTO 设定的再现性



例 3）4,200 cd/m² ND1%/0.01%-60Hz 设定的再现性



从上述结果可见，例 1 中 DC 驱动光源稳定，即使不使用 ND 滤光片也能保持高再现性。然而，当同一亮度光源采用 PWM 50% 占空比驱动时，理论上亮度减半，但实际由于积分时间内需累积多个周期，传感器可能饱和而产生过量程。

在例 2 中，即使使用 ND 滤光片，如果自动模式的积分时间与 PWM 频率不是整数倍，仍会出现不稳定。当使用 ND0.01% 滤光片时，积分时间被强制延长，可在 PWM 周期上充分积分，测量更稳定。

如例 3 所示，当根据 PWM 周期调整频率设定后，可实现稳定测量。

由此可确认，通过 ND 滤光片组合，即使是 PWM 光源也能维持高重复精度。使用 ND0.01%滤光片时，已实现低于 0.1%的再现性，从而提高整体评估过程的效率。尤其是结合频率设定后，可获得更高再现性。

5. 总结

ND 滤光片不仅仅是辅助配件，而是确保 UA-20/UA-10A 系列实现高精度测量的重要组件。

特别是在 PWM 光源或蓝光成分较强的光源测量中，ND 滤光片能显著提升测量的再现性与可靠性。

建议根据测量环境与光源特性，合理使用 ND 滤光片以获得最优测量效果。