

色差仪的原理

▫测色仪的选择

1. 色差仪的目的：

测量L、a、b或L*、a*、b*值、 ΔE 、 ΔE^* 、WI各类白度值、YI各类黄度值、反射率、透射率、散射率、吸收率、APHA值（Pt-Co）、Saybolt、雾度、浊度、遮盖力等等等等指标（HunterLab提供近百种颜色值或指数）。

2. 指数的计算根据：

这些指数的计算均来自 XYZ 三刺激值，我们常称之为三原色，以下以 L、a、b 为例，介绍仪器的原理和需要关注的内容。

颜色公式的计算	
Hunter L、a、b	CIE L*、a*、b*
$L = 100 (Y/Y_n)^{1/2}$	$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$
$a = K_a \frac{(X/X_n - Y/Y_n)}{(Y/Y_n)^{1/2}}$	$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$
$b = K_b \frac{(Y/Y_n - Z/Z_n)}{(Y/Y_n)^{1/2}}$	$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$

3. L、a、b 值的结果取决于 XYZ 值。

XYZ 的计算公式：

$$X = k \sum_{400}^{700} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{400}^{700} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$Z = k \sum_{400}^{700} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta\lambda$$

S_{λ} : 标准照明体的光谱能量分布。

R_{λ} : 物体色的反射率（若为透射色时，用透射率 T_{λ} 计算）。

\bar{x}_{λ} 、 \bar{y}_{λ} 、 \bar{z}_{λ} 为 1931 标准色度观察者光谱三刺激值即 2°观察者的，计算 X10、Y10、Z10 时 $\bar{x}_{10\lambda}$ 、 $\bar{y}_{10\lambda}$ 、 $\bar{z}_{10\lambda}$ 为 1964 标准色度观察者光谱三刺激值即 10°观察者。

k : 归一化系数，是将照明体（光源）的 Y 值调整为 100 时得出的。

$$k = 100 / \sum S_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda$$

如果 S_{λ} 光源因子和反射率 R_{λ} 因子变化，**XYZ 值必变无疑**。

4. 反射率或透射率取决于五要素

1) 定标

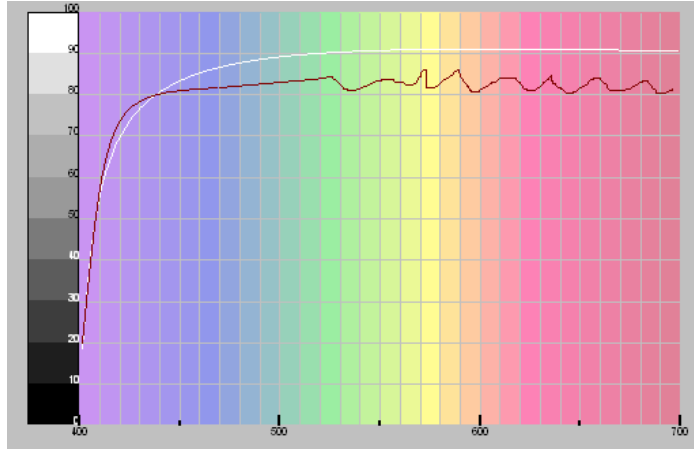
正如格林威治时间一样，颜色的标准是全球统一的，我们都知道在光源视角领域的最高权威机构是 CIE 国际照明委员会，而我们通常认为的白色，我们理论上认为是可见光范围内所有单色光 100%反射，所以，关于 100%的定义和 0 的定义就是标准的关键。

色差仪带的白板应该是一块传递白板，将国际标准白传递到仪器上，所以正规的仪器是应该带白板标准数据的，而且这个数据必须由国际权威部门认可传输，或者叫可溯源，如果自己测的数据贴在白板上，那可能只能保证测量的短期重复性，无法保证测量的绝对值准确可靠。

2) 白板和积分球

CIE 认可的光学结构有 6 种： $d/8^{\circ}$ 、 $8^{\circ}/d$ 、 $d/0^{\circ}$ 、 $0^{\circ}/d$ 、 $45^{\circ}/0^{\circ}$ 、 $0^{\circ}/45^{\circ}$ 。

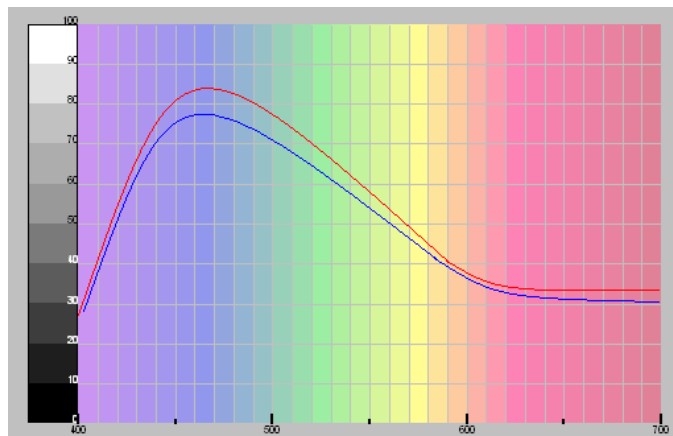
白板：如果白板变色了，定标的标准就会变化。下图白色为标准板，棕色线为变化后的白板，如果色差仪的白板没有标准，材质不够稳定容易老化而且没有国际溯源数据进行监控，您测量的数据就危险了。



后两种 $45^\circ / 0^\circ$ 、 $0^\circ / 45^\circ$ 是光源直射样品，完全去除镜面反射效果模拟人眼观测，需要关注白板，无积分球。

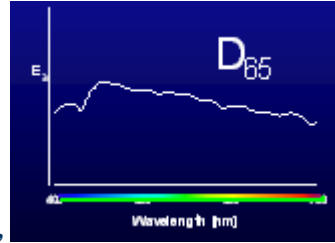
而前四者都使用积分球，这是一个内壁涂满白色物质模拟全反射的一个球体。ASTM 标准是 6 英寸 152.4mm 直径。试想，如果积分球内壁涂层老化或者脱落，会有什么结果？ S_λ （光源）数值变化，反射率 R_λ 变化，**所有的 XYZ 值都变化！**

下图红色线是样品真实的反射率或透射率，蓝色是校标后或积分球老化后反射率可能变化的示意图，您可以发现，反射率变化了，更甚者则是变化得没有规律，测量结果相差更远。



3) 光源

现在色差仪的光源都是模拟 D65 的，**CIE 推荐使用闪光氙灯**，其它光源类型不予推荐。



但各类仪器模拟 D65 的程度有很大差别，尤其是在蓝光部分(UV 区域)，光源的价格差 10 倍到 50 倍。建议配有荧光校正板用来校正 D65 种 UV 比例，最大相似模拟日光。

4) 分光精度

将反射光或透射光进行分光，分成单色光，现在的色差仪一般使用二极管矩阵进行分光，但矩阵数量相差很多，少的只有 1 组，多的可达 1000 多组，无法同日而语，而且间隔相差很大，有的是 20nm 检测，而现在最好的测色仪是 2nm 检测。

5) 检测标准

分光完成后将反射率或透射率用数字或图表表示，举例：一个最大反射波峰在 530nm 的绿色样品，如果用一台不标准的测色仪检测出是 540nm 或 520nm，颜色判断会是偏黄或偏蓝光，对检测误导就很大了。原因何在？波长漂移。光栅的体积只有半个火柴盒大小，里面的分布一旦由于静电、磁场、振动等等外界因素的干扰，都可能会发生极细微的变化，而正是这点变化，您的波长可能就漂移了。问题是，现在市场上的色差仪绝大多数不配备检测标准，有一个客户一年内 Y 值漂了 2 个单位，但他们根本无法察觉。因为根本没有任何检测的板或数据。这种仪器用起来是实在不能让人放心的。

综上所述色差仪的部分原理，意在让对颜色有测试需求的用户了解如何选择和判断：光源、积分球材质、白板材质、白板的数据、漂移检测板、光栅、检测器等等。