



KONICA MINOLTA



精确的色彩交流

—从凭感觉到用仪器进行颜色调控—



KONICA MINOLTA

<http://se.konicaminolta.com.cn>



The essentials of imaging



认识颜色。 通过颜色来认识。 在任何环境中， 颜色总能吸引注意力。

我们的生活总是被五彩缤纷的颜色所包围著。我们大家都认为颜色是美丽的，但在我们的日常生活中，它却有很多作用：它不仅影响我们品尝食物和购买其他物品，一个人的脸色还说明他的健康情况。即使颜色如此多地影响着 我们，而它的重要性还在不断地增长，我们对颜色的知识以及对它的调控总显得不足，使得在确定产品的颜色或在与颜色有关的商业交易中带来各种各样的问题。因为人们是根据个人印象或经历来判断颜色的，但是对每一个人来说，要用普通的，统一的标准来准确地调控颜色那是不可能的。那么我们是否有一种办法来准确地表示某种给定的颜色*，或向另外一个人来描述这种颜色，并由这个人正确地再现我们所看到的那种颜色呢？在工业和科研的各个领域之间怎样才能顺顺当当地进行色彩信息交流呢？显然，我们需要更多的有关颜色的信息和知识。

**在本书中，我们把颜色一词用作某种物体的颜色。*

Contents

目录

第 I 部分

这个苹果是什么颜色的？	4
对颜色的表示法常常是十个人十个样子，各个不同	5
即使是相同的颜色，为什么看起来还是不一样呢？	6
两个红球，你如何向别人描述两球颜色的差别？	8
色调、亮度、色饱和度	
色彩世界由这三个属性构成	10
色调、亮度和色饱和度构成了一个色主体	12
为色调、亮度和色饱和度建立标度，	
我们就能用数字来测量颜色	14
色彩色差计使颜色的量化简便易行	15
几种不同的色空间	16
用色彩色差计测量各种颜色	21
色彩色差计擅长于揭露甚至细微的色差	22
某些颜色从人眼看来是一样的，	
但是用色度色差计还可测出其间的细微差别	24
利用色彩色差计进行质量控制的一个例子	25
色彩色差计的特点	26

第 II 部分

为什么苹果看起来是红色的？	28
光、视觉，和物体是我们能看出颜色的三个必要条件	29
人类可以看到作为颜色的特定波长	30
光线进入我们的眼睛给我们以色感的过程，以及色彩色差计测色的过程，	
这两者之间有何区别？	32
利用分光测色计来看光（和颜色）的组成部分	34
用分光测色计测量各种颜色	36
三刺激法和分光光谱分析法的区别	38
当光源改变时为什么颜色会显著地改变？	40
分光测色计甚至能处理复杂的条件等色现象问题	42
分光测色计的特点	44
比较色度计与分光测色计	46
色彩与光泽度	48
特殊色彩的测量	50
特殊被测物体及测量条件	52

第 III 部分

新色差公式（CIE2000）	53
----------------	----

第 IV 部分

附录	57
----	----

让我们来研究颜色

只要我们环顾四周，就有各种各样的颜色跃入我们的眼帘。在我们的日常生活中，我们被包围在无数的颜色之中。然而，和长度或重量不同，还没有量度颜色的物理标度，当问及某一颜色是怎样的时，每一个人的回答未必相同。举个例子，如果我们对人们说“蓝色的海洋”或“蓝天”时，每一个人由于他们的色灵敏度和过去的经历不同，每个人想像中的蓝色就不是一样的。对颜色来说，这就是个问题。因此让我们来研究一下颜色并定出实用的颜色数据。

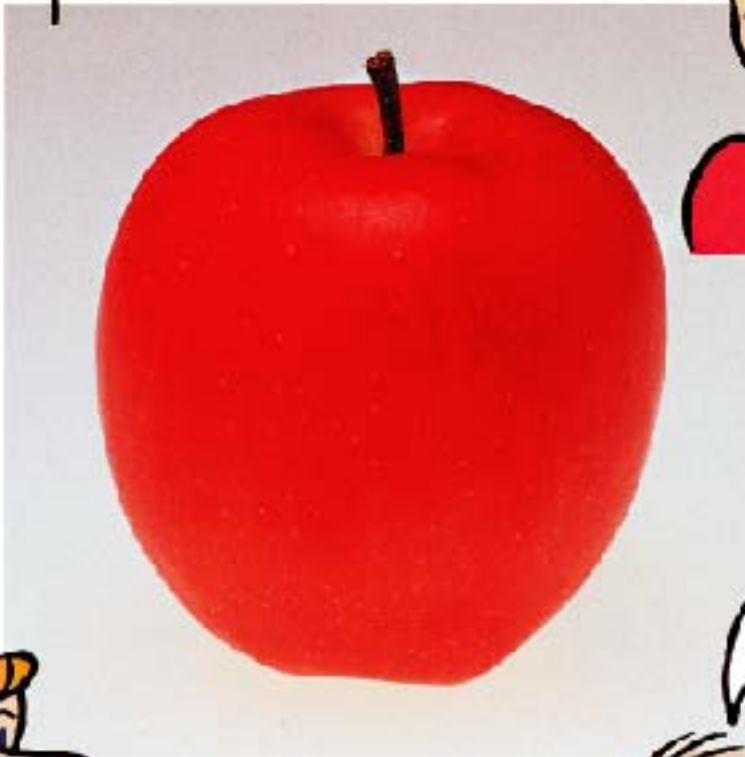
这个苹果是什么颜色的？



红色的！



火红色的。



鲜红色的。



我说是
绯红的

对颜色的表示法常常是十个人十个样子，各个不同。“给颜色定名”是一个大难题。

如果你把同一个苹果给4个不同的人看，你必然得到4个不同答案。

颜色是一种有关感觉和主观解释的问题。即使他们看着同一物体（在这里是说一只苹果，人们将依不同的标准和经历以迥然不同的字眼来表达同一种颜色。因为要表达一种颜色有各种各样的方法，要向某人描述某种特定颜色是很难说得一清二楚的。如果我们对某人描述苹果的颜色是“火红色的”，我们是否能指望他们准确地再现这种颜色呢？用言语来表达颜色是复杂而困难的。然而，如果有一种标准的方法能精确地表示颜色并为每个人所理解，则色彩信息的交流就可以更加顺当，更加简单和精确。这种精确的色彩信息交流将解决种种与颜色有关的问题。

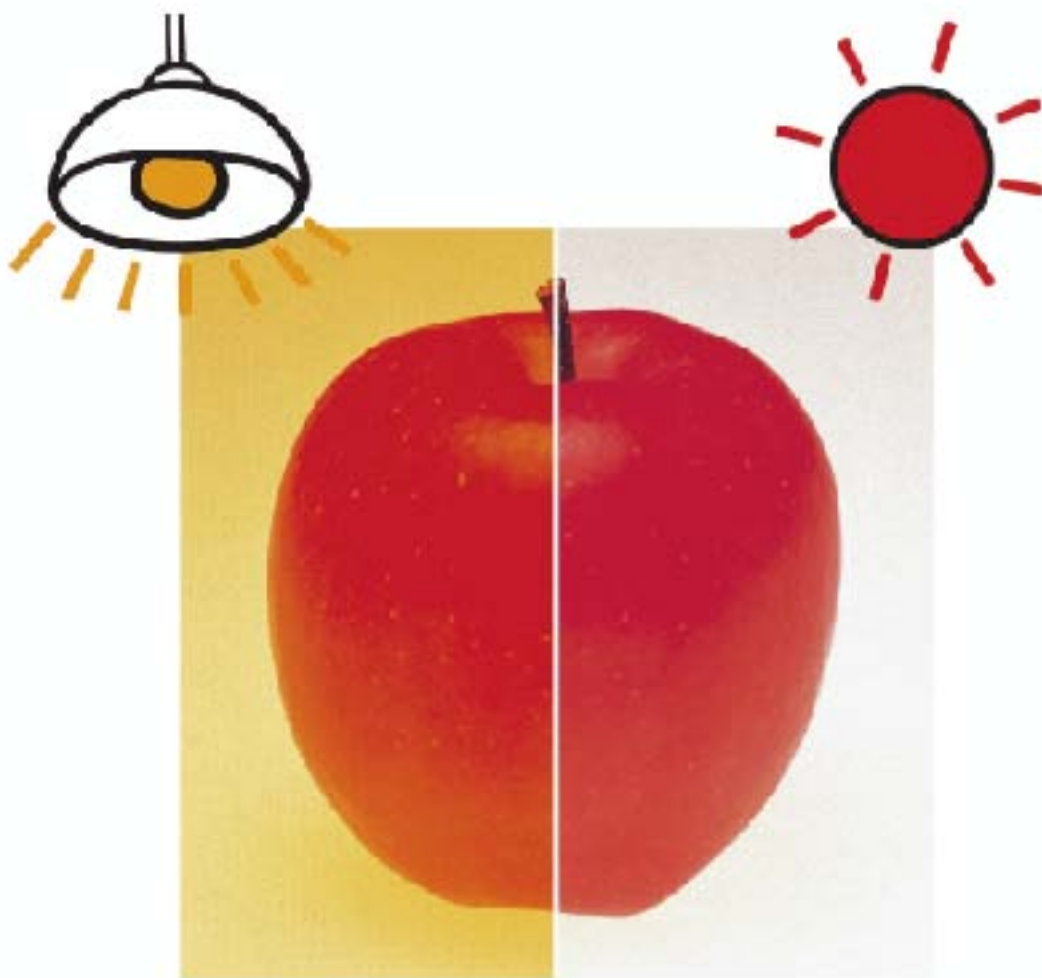
用语言来描述颜色能准确到什么程度？

惯用色名和系统色名

用来表达颜色的名词常随时代而变。例如我们谈到的红色就有“朱红”、“品红”、“玫瑰红”、“草莓红”和“绯红”等。这些称为“惯用色名”，通过分析颜色的状态，并加上“鲜”、“暗”、“深”等形容词，我们描述颜色就可以更加精确一些。如在上一页，有人用“鲜红”这一类词语被称为系统色名。尽管我们已用很多分法来描述颜色，不同的人听到“绯红”或“鲜红”时仍会以不同的方式来解释这种表达方式。因此，用语言来表达颜色仍然是不够准确的。那么怎样来表达颜色才不至于被误解呢？



即使是相同的颜色，但为什么看起来还是不一样呢？



各种条件如何影响我们查看颜色。

光源的差别

大概很多人都有这种经验，一个摆在蔬菜水果店里的苹果在阳光照射下，显得如此美味可口，如果放在家里的日光灯下看起来就不是那么好了。阳光、日光灯、钨丝灯等，每一种照明都使同一个苹果看起来不一样。

观察者的差别

每个人的眼睛的灵敏度总是稍有差别的，甚至认为色视觉正常的人，对红或蓝仍可能有所偏倚。还有，一个人的视力通常随年龄的增大而改变。

由于这些因素，各种颜色在不同的人看来是不一样的。

尺寸的差别

有人在查看了墙纸的小块样片以后选择了他认为很好的一种，但当墙纸贴到墙上去之后却又觉得太亮了一点。覆盖在大面积上的颜色比覆盖在小面积上的看起来更明亮和更鲜艳，这就是所谓的面积效应。挑选大面积的物体却根据小面积的色样会产生错误。

背景的差别

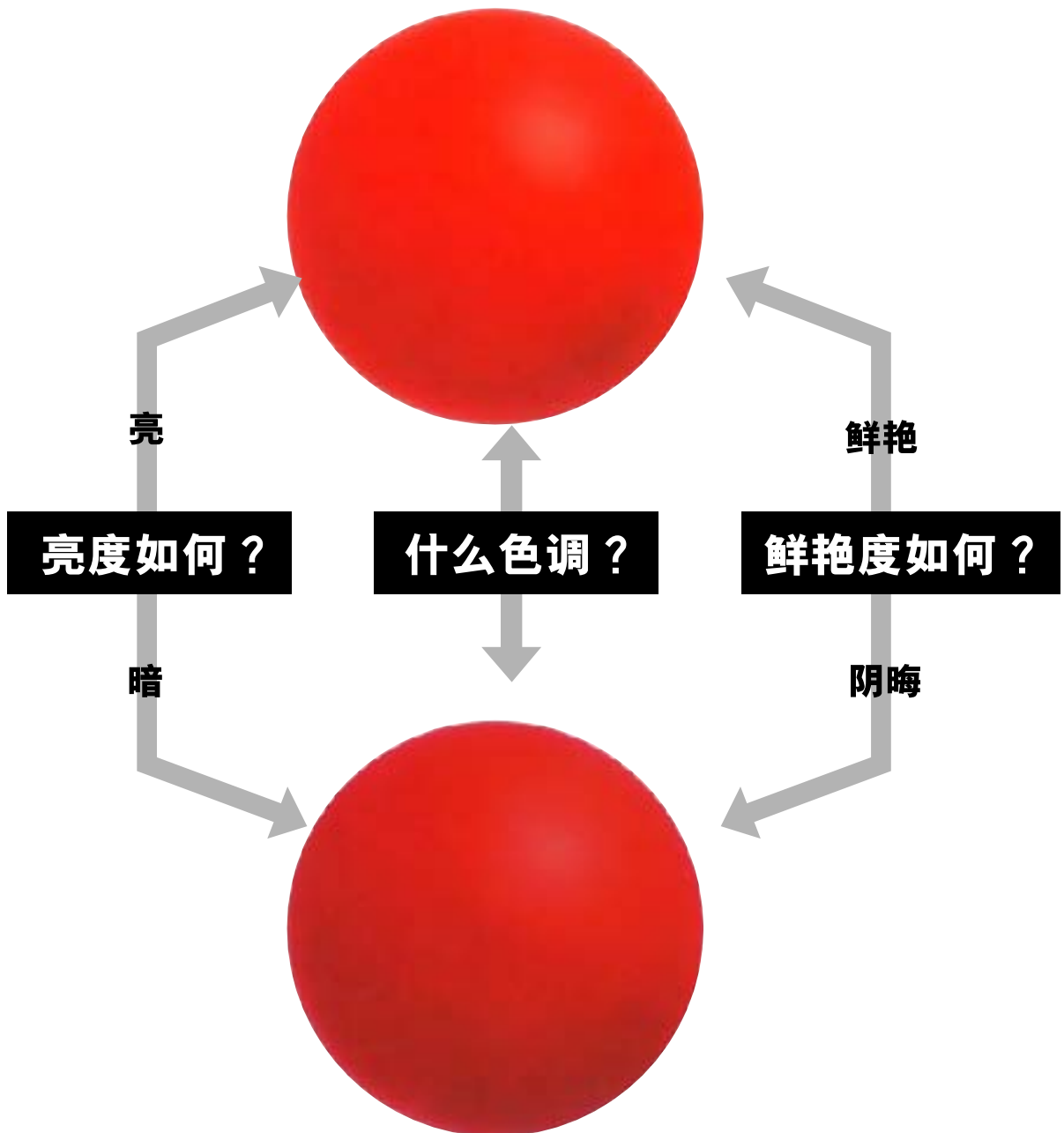
放在明亮背景之前的苹果看起来要比放在暗背景之前的来得黯淡。这被称之为对比效应。对于要准确地判断颜色来说，这是不利的。

方向的差别

当我们从两个稍稍不同的角度观察一辆小车时，车上的某点看起来会有明暗之差。这是由于车上的涂料有方向特性的缘故。某种带色的材料，特别是金属涂料有强烈的方向特性。对于精确的色彩交流，对某物的观察角和照明角必须保持恒定。



下面有两个红球。你如何向别人描述两球颜色的差别。



为了更好地理解颜色的正确表示法，让我们来看一下色彩的世界。

有很多种不同的“红”色。左图上两球的红色极为相似。它们有什么不同呢？

左图上有两个红球。乍一看，它们都是一样的红色，但仔细观察一下你就会发现它们在好几方面都是不一样的，两球都是红色，但上球的颜色较为明亮，下球则较暗，还有，上球的颜色显得鲜艳。可见，即使两球看来都是红的，但它们的颜色却是不一样的。当将颜色分类时，它们可以以构成颜色的三个属性来表示，即：色调、亮度和色饱和度（鲜艳度）。

色调、亮度和色饱和度。色彩世界由这三个属性构成。

图1：色环

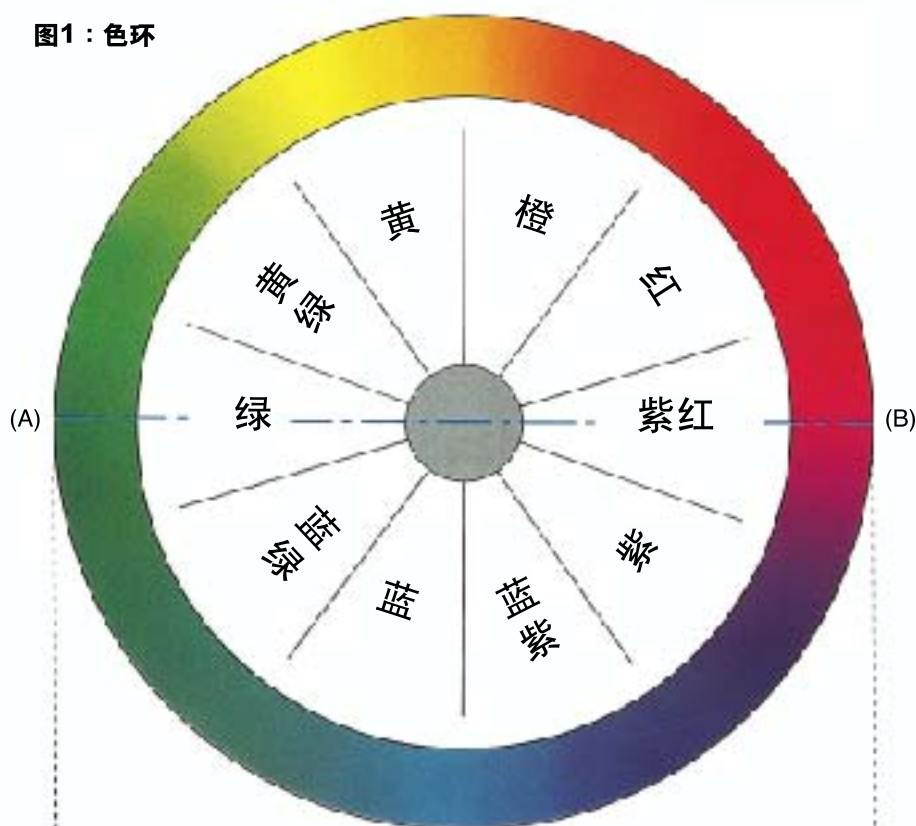


图2：紫红与绿的亮度和色饱和度的变化

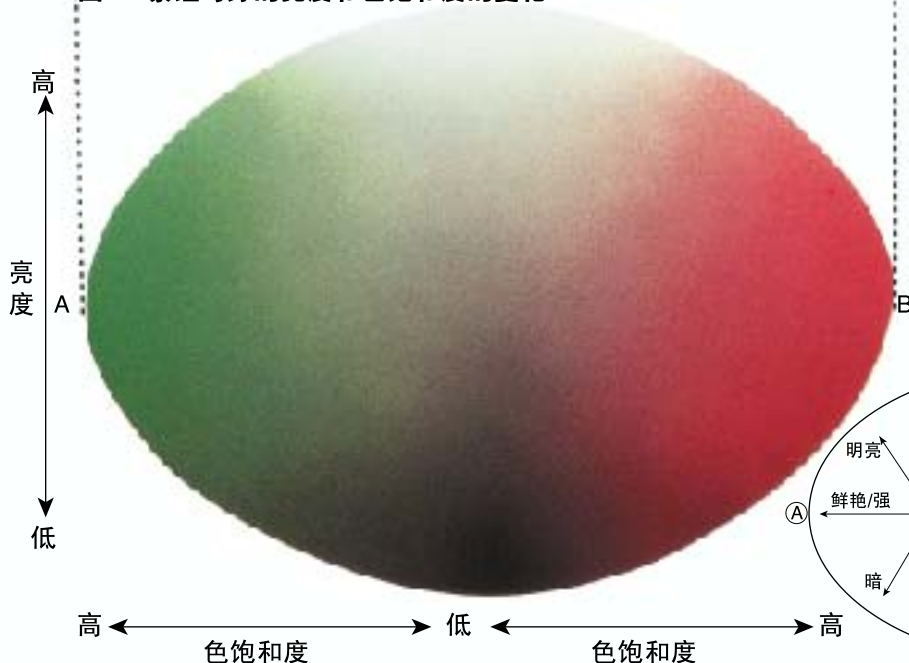
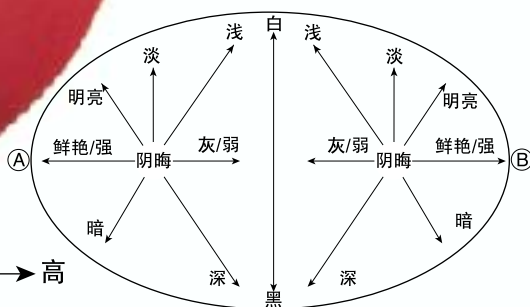


图3：
有关颜色的形容词
(亮度和色饱和度)



色调、亮度和色饱和度：这就是色彩的世界。

色调 红、黄、绿、蓝..... 等色调构成了色环

苹果是红的，柠檬是黄的，天是蓝的，这就是我们大家以日常用语对颜色的判断。我们用色调这一术语在色彩世界里把颜色区分为红、黄、蓝等类别。还有，虽然黄和红是两种截然不同的色调，但是把黄和红混合在一起就产生了橙色(有时称之为黄—红)；混合黄和绿产生黄—绿；混合蓝和绿则产生蓝—绿，等等。把这些色调衔接排列，就形成如图1所示的色环。

亮度 颜色有明暗之分 颜色的亮度沿垂直方向变化

当比较各种颜色的亮度(颜色的明亮程度如何)时，颜色就有明亮和深暗之分。例如，将柠檬的黄色和葡萄柚的黄色来说，毫无疑问，柠檬的黄色就比较明亮。把柠檬的黄色和欧洲甜樱桃的红色相比，显然，也是柠檬黄比较明亮。可见，颜色亮度的测量与色调无关。现在，让我们来看一看图2。图2是图1沿A(绿)B(紫红)直线切开的剖面图。可以看出，亮度沿垂直方向变化，越往上去，色彩越明亮，越往下去，则越深暗。

色饱和度 色有鲜艳与阴晦之别 色饱和度由中心向两侧变化

再来说说黄色。柠檬的黄色和梨的黄色相比较又如何？你可能会说柠檬的黄色更明亮一些，但除此以外还有一个大的差别就是柠檬的黄色显得鲜艳，而梨的颜色则显得阴晦。这种差别称之为色饱和度或鲜艳程度。从图2可以看出，紫红和绿两色的饱和度分别由中心向两侧随水平距离的增加而变化。离中心越近，色彩越阴晦；离中心越远，则越鲜艳。图3标出了一些常用的描述色彩亮度和色饱和度的形容词。至于这些形容词表达了什么，请再看一下图2。

色调、亮度和色饱和度构成了一个色立体。

如果我们用亮度的变化作为色环的主轴，用色饱和度的变化作为色环的副轴，则.....

色调、亮度和色饱和度为颜色的三个属性。将此三属性放在一起，可以组成一个三维立体，如图4。色调形成该立体的外缘，亮度作为中央主轴，而色饱和度作为水平副轴。世界上一切的颜色均分布于如图4所示的主体周围，于是形成了如图5所示的色立体，由于色饱和度各梯级的大小对每一种色调和亮度来说都是不等的，因此色立体的形状为复杂，但却能把色调、亮度、和饱和度的关系以直观的方式来表达得清清楚楚。

图4：三维
(色调、亮度、色饱和度) 立体

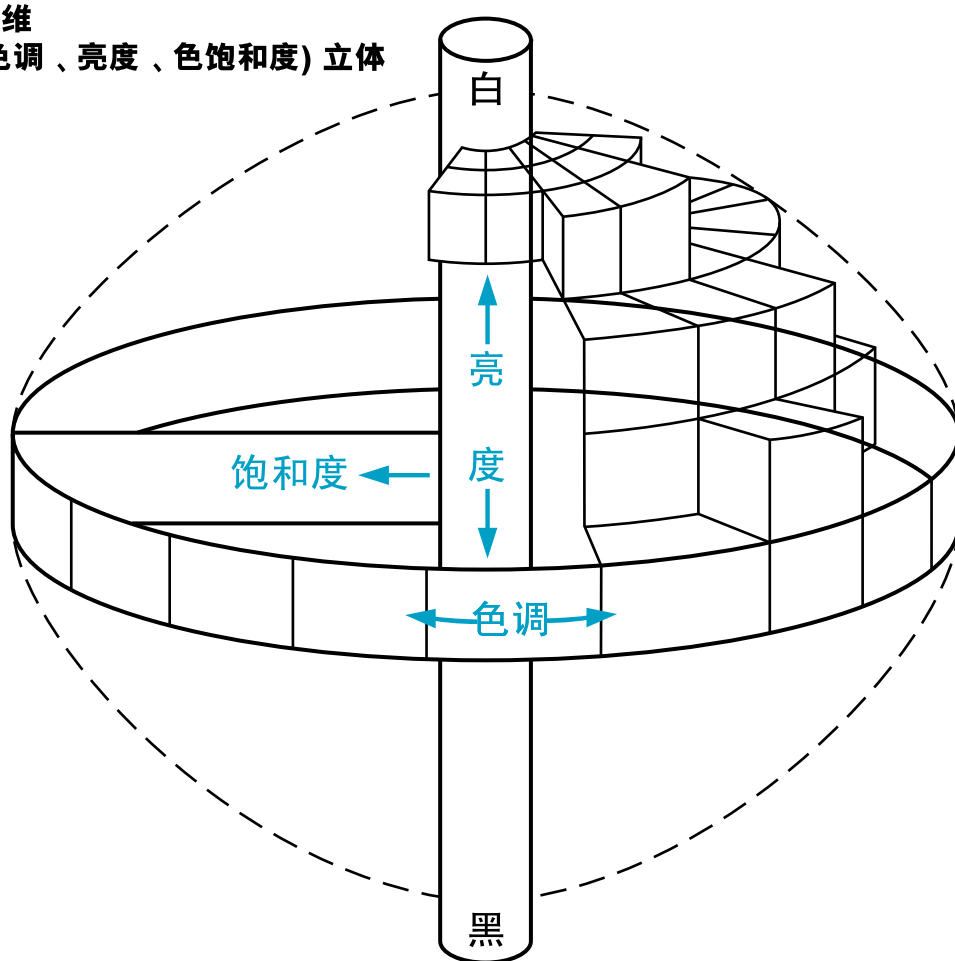
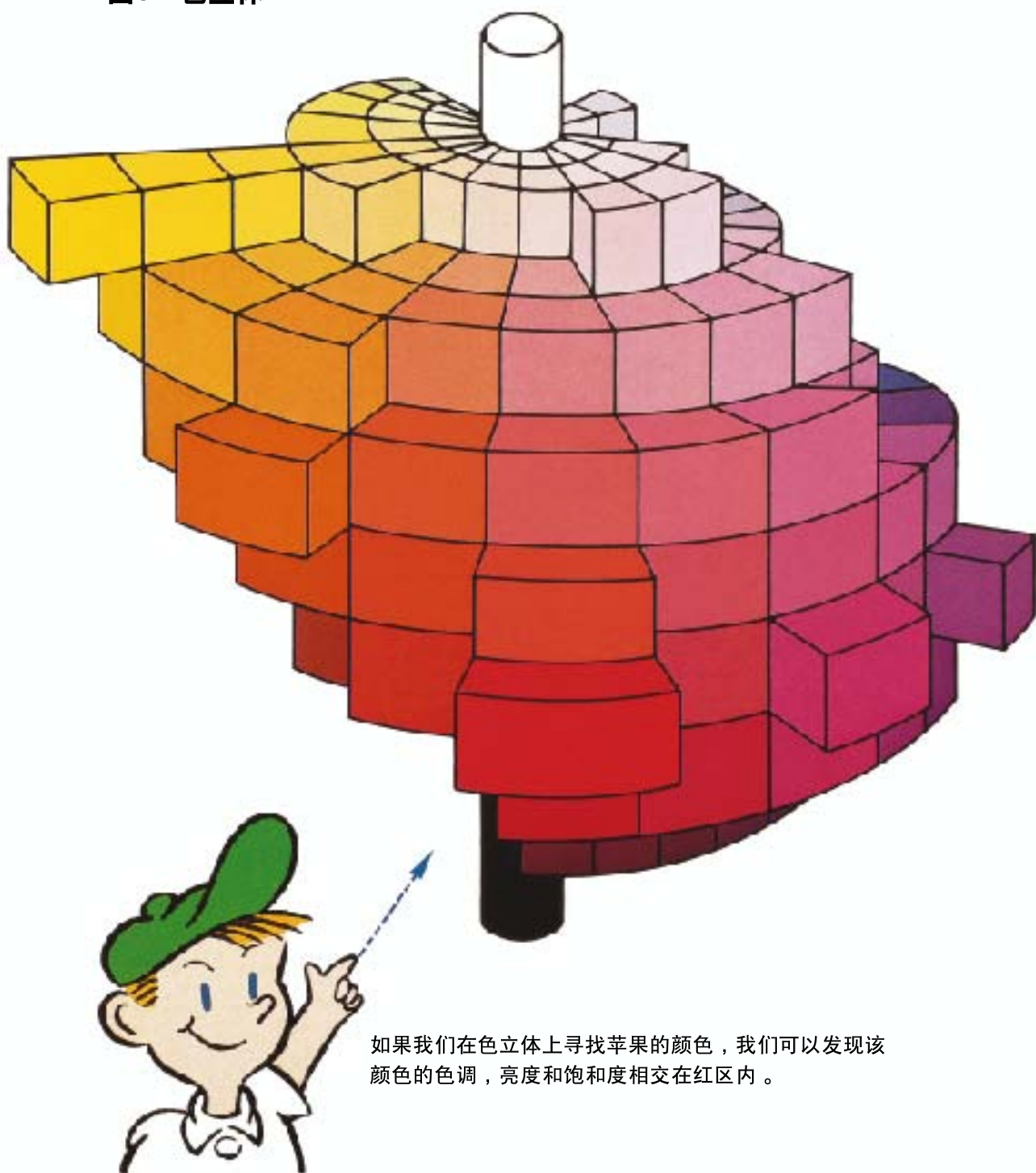


图5：色立体



如果我们在色立体上寻找苹果的颜色，我们可以发现该颜色的色调，亮度和饱和度相交在红区内。

为色调、亮度和饱和度建立标度， 我们就能用数字来测量颜色。

用数字来表达颜色的历史

过去已有好几个人想出多种方法，常常是通过复杂的公式用数量来表示颜色，其目的是使每个人能够更容易地和更准确地作色彩信息交流。这些方法试图提出一种用数字来表示颜色的方法，就好像我们表示长度和重量一样。例如在1905年，美国画家A.H.孟塞尔发明一种表示颜色的方法，这种方法利用大量按照颜色的色调(孟塞尔色调)、亮度(孟塞尔值)和色饱和度(孟塞尔饱和度)分类的色纸片，用来和样品色作目视比较。后来，经过许多进一步实验，该系统经过更新，创立了孟塞尔新表色系统，也就是现在在用的孟塞尔系统。在该系统中，任何给定的颜色按照它的色调(H)，亮度值(V)和饱和度(C)，表示为一个字母/数字组合(HV/C)，并利用孟塞尔色卡作目视测定。其他用数字表示颜色的方法是由国际照明委员会(CIE)研究出来的。其中最为著名的两种方法为Yxy色空间法和 $L^*a^*b^*$ 色空间法。前者是于1931年根据CIE规定的三刺激值XYZ发明出来的，后者是由1976年发明的，以给出更为均匀的相对于视差的色差。这两种色空间*已在全世界用于色彩交流。

**色空间：这是一种用某种符号(例如数字)来表示某物体或某种光源颜色的方法。*



量化的颜色用起来是很方便的！



色彩色差计使颜色的量化简便易行。

利用一台色彩色差计，我们可以立刻得到以各种色空间表示的测量结果。

如果我们测量苹果的颜色，
我们得到下列结果：



XYZ三刺激值

X= 21.21
Y= 13.37
Z= 9.32

Yxy色空间

Y= 13.37
x= 0.4832
y= 0.3045

L*a*b* 色空间

L*= 43.31
a*= 47.63
b*= 14.12

L*C*h* 色空间

L= 43.31
C= 49.68
h= 16.5

亨特Lab色空间

L= 36.56
a= 42.18
b= 8.84

几种不同的色空间

XYZ 三刺激值和 Yxy 色空间

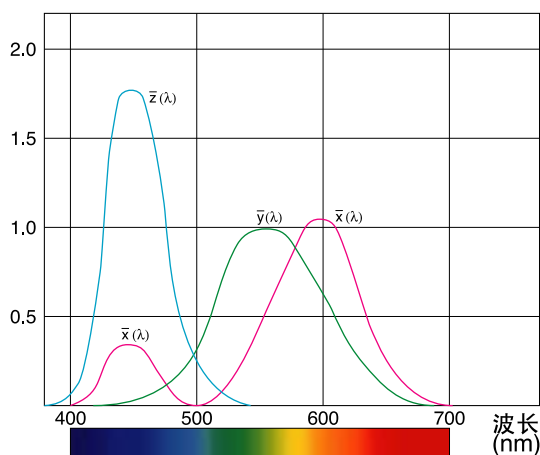
XYZ三刺激值和相关联的Yxy色空间构成了当前的CIE色空间的基础。XYZ三刺激值的概念是以色视觉的三元理论为根据的，它说明人眼具有接收三原色(红、绿、蓝)的接受器，而所有的颜色均被视作该三原色的混合色。1931年CIE制定了一种假想的标准观察者，它具有如下列图6所示的配色函数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 。XYZ三刺激值是利用这些标准观察者配色函数计算得来的。

三刺激值XYZ对定义颜色十分有用，但却不易目视其结果。为此，CIE于1931年规定了一种色空间，用来在二维图上描绘出颜色，但与亮度无关；这就是Yxy色空间，其中Y为亮度(和三刺激值Y相同)，x和y是从三刺激值XYZ计算得来的色坐标(详情请参阅P.47)。图7所示为这种色空间的CIEx,y色度图。该色度图的中央为消失区，越向边缘色度越浓重。如果我们用Yxy色空间测量苹果的颜色，我们可得到值 $x=0.4832$ ，值 $y=0.3045$ 作为色度坐标，它对应于图7上的A点，Y值13.37说明该苹果的反射比为13.37%(和反射比为100%的理想漫反射屏相比较)。



Y= 13.37
x= 0.4832
y= 0.3045

**图6：与人眼相当的光谱灵敏度
(1931标准观察者的配色函数)**



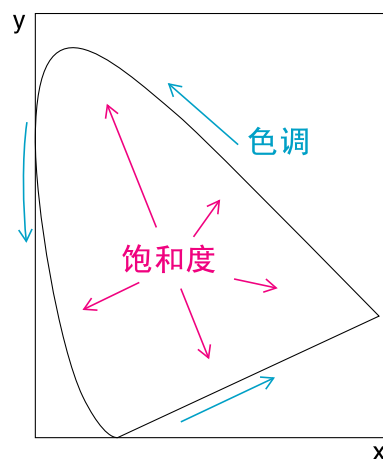
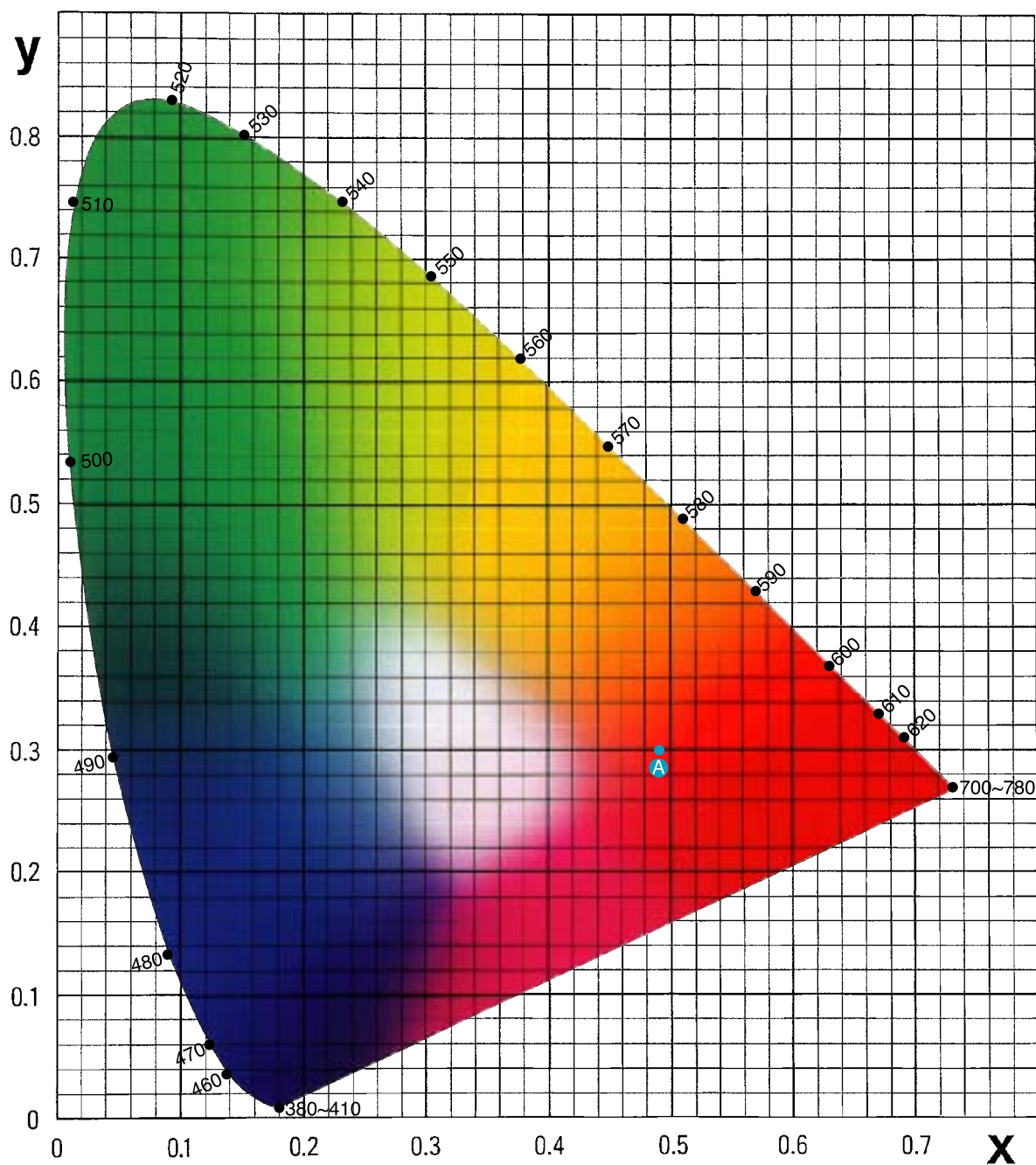


图7 : 1931 x, y 色度图



L*a*b* 色空间

L*a*b*色空间(也称为CIELAB)是当前最通用的测量物体颜色的色空间之一，可广泛应用于所有领域。它是均匀色空间之一，是由CIE在1976年制定的，以便克服原来的Yxy色空间的一个主要问题，即：在x,y色度图上相等的距离并不相当于我们所觉察到的相等色差。在这一色空间中，L*是亮度，a*和b*是色度坐标。图8所示的为a*, b*色度图。在这个图上，a*和b*表示色方向：+a*为红色方向，-a*为绿色方向，+b*为黄色方向，-b*为蓝色方向。中央为消色区；当a*和b*值增大时，色点远离中心，色饱和度增大。图10是L*a*b*色空间色主体表示法；图8是该色主体在某恒定L*值处的水平剖面图。如果我们用L*a*b*色空间来测量苹果的颜色时，我们得到下列值。要知道这些值究竟代表什么颜色，首先让我们在图8上的a*b*图上标出a*和b*值(a*=+47.63, b*=+14.12)来得到点A，它所表示的就是苹果的色度。

图8：a*b*色度图



L* = 43.31
a* = 47.63
b* = 14.12

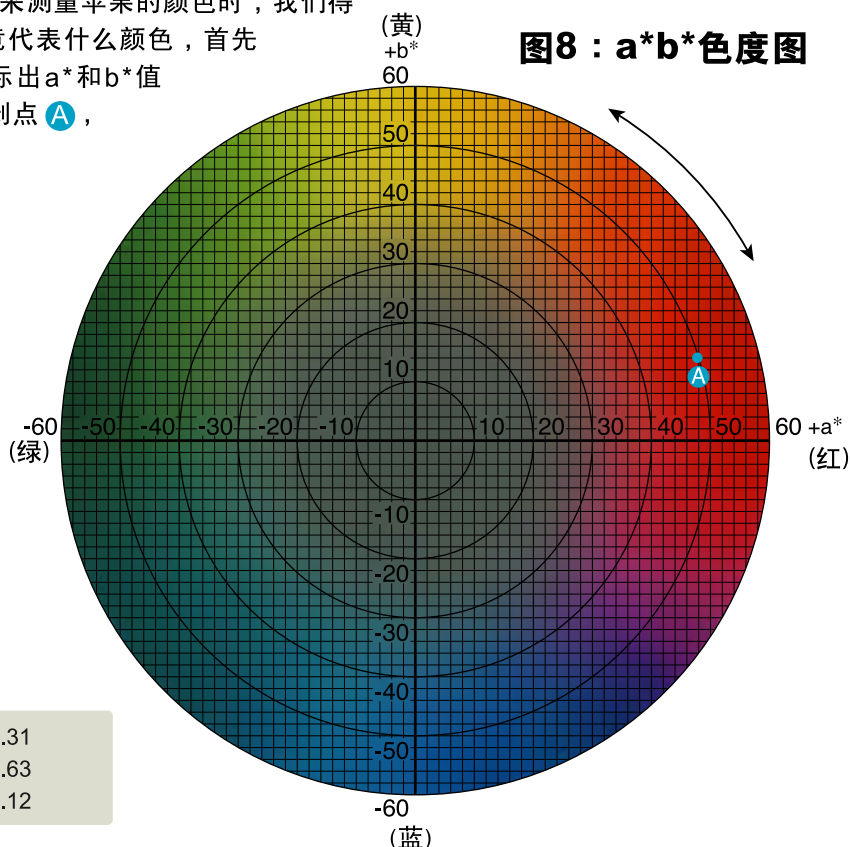


图9：色度和亮度

如果我们把图10上的色主体通过A点和中心垂直地切割，我们可以得到一张色图与亮度的关系图，图9所示为该图一部分。

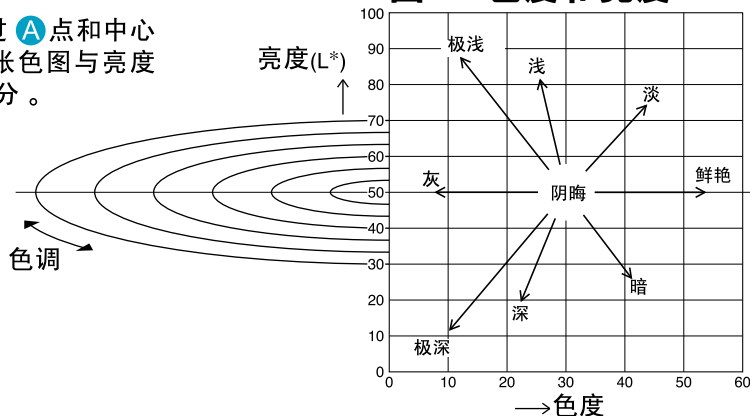
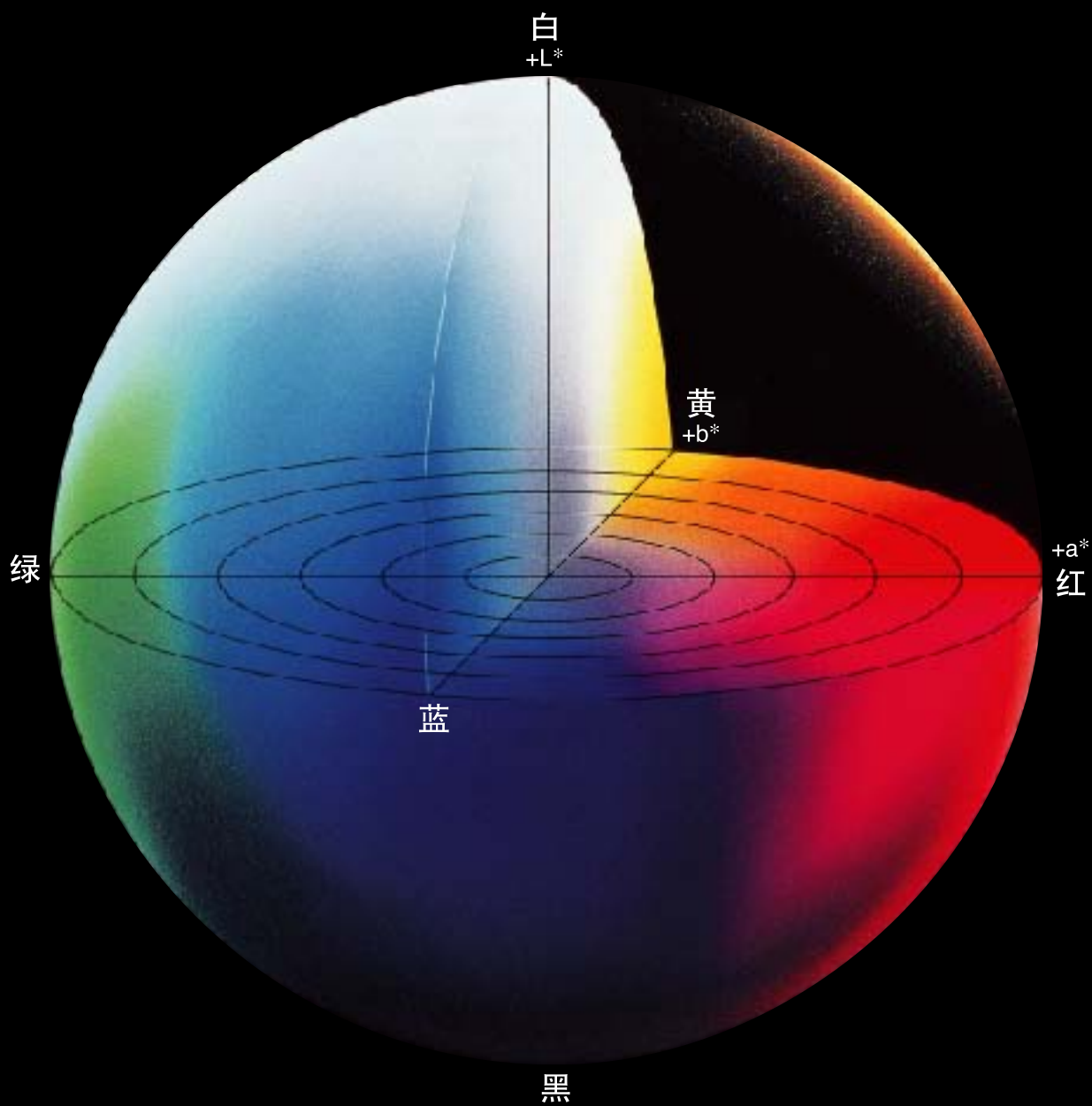


图10 : $L^*a^*b^*$ 色空间的色立体表示法



L*C*h 色空间

L*C*h色空间使用与L*a*b*色空间一样的色度图，但是它使用柱面坐标而不是直角坐标。在该色空间中，L*代表亮度且与L*a*b*色空间中的L*相同，C*为色饱和度，h为色调角。在圆心处色饱和度C*的值为0，离圆心越远C*值越大。色调角被规定为从+a*轴开始并以度数表示；0° 为+a*(红)，90° 为+b*(黄)，180° 为-a*(绿)，270° 为-b*(蓝)。如果我们用L*C*h色空间来测量苹果的颜色，我们将得到下列结果。如果我们把这些值描绘在图11上，我们就得到点A。

$$\text{色饱和度 } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{色调角 } h_{ab} = \tan^{-1} \frac{a^*}{b^*}$$



L= 43.31
C= 49.68
h= 16.5

图11：图8a*,b*色度图的一部分

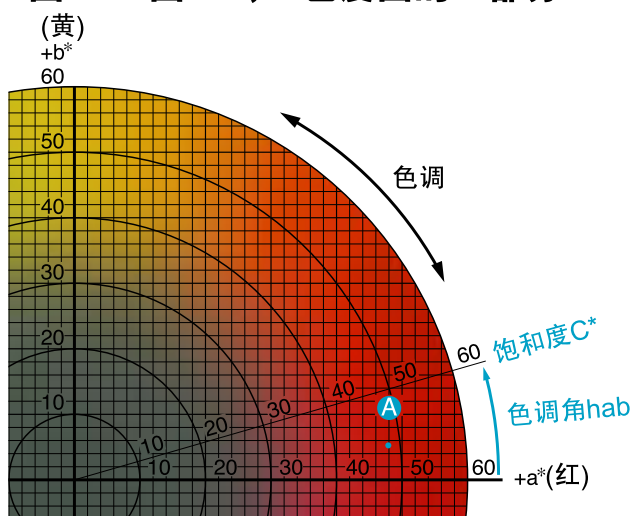
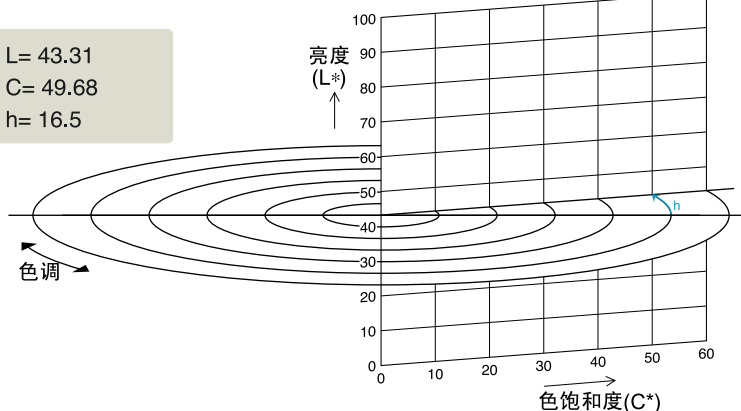


图12：色饱和度和亮度



亨特Lab色空间

亨特Lab色空间是由R.S.亨特发明的，是比CIE1931Yxy色空间在视觉上更为均匀的色空间。它与CIEL*a*b*色空间相似，它仍在包括美国的油漆工业在内的各种领域中使用。



L= 36.56
a= 42.18
b= 8.84

用色彩色差计测量各种颜色

尽管人眼不能准确地用数量来表示颜色，但是用色彩色差计测量则是最简单不过的。正如我们在前面说过，不喜欢人们普遍用主观表示法来口头地描述颜色，而色彩色差计则是按照国际标准用数字来表达颜色。用这种方法来表示颜色就有可能让每一个人理解所表达的是一种什么样的颜色。还有，一个人对单色感觉会随著背景或照亮颜色的光源而改变。色彩色差计具有与人眼相当的灵敏度，但是因为色彩色差计总是利用同一光源和照明法来测量，测量条件总是一样的，无论它是在昼间或夜间，室内还是室外。这就使得测量既简便而准确。利用在前面讨论过的色空间，确定你的测量对象的数值。

瓷砖



L*a*b* 色空间

L*= 74.72
a*= 15.32
b*= 10.21

印刷品



XYZ(Yxy) 色空间

Y= 16.02
x= 0.1693
y= 0.1999

橡胶



L*a*b* 色空间

L*= 37.47
a*= 7.07
b*=-47.77

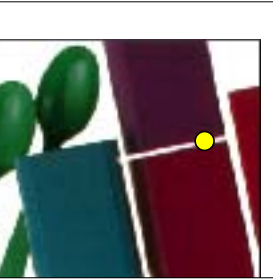
纺织品



L*C*h* 色空间

L= 76.47
C= 37.34
h=359.7

塑料



L*a*b* 色空间

L*= 34.27
a*= 44.53
b*=-21.92

油漆



亨特 Lab 色空间

H= 8.4R
V= 3.4
C= 14.1

● 指出测量点

色彩色差计擅长于揭露甚至于细微的色差

用数值来表示色差

不论在何处只要用到颜色，最头痛的问题就是细微的色差。但是用了色彩色差计，即使细微的色差也可以用数字表达出来而且容易被人所理解。让我们用L*a*b*和L*C*h色空间来看一下两个苹果之间的色差。用苹果①的颜色(L*=43.31,a*=+47.63,b*=+14.12)作为标准，如果我们测量苹果②的颜色(L*=47.34, a*=+44.58, b*=+15.16)与苹果①的颜色之差。我们得到下面显示器A所表示的结果。色差则在图14上的图形上表示出来。

苹果①



苹果②



苹果 A : L*a*b* 色差

$\Delta L^* = +4.03$
 $\Delta a^* = -3.05$
 $\Delta b^* = +1.04$
 $\Delta E^* = 5.16$

苹果 B : L*C*h* 色差

$\Delta L^* = +4.03$
 $\Delta C^* = -2.59$
 $\Delta H^* = +1.92$
 $\Delta E^* = 5.16$

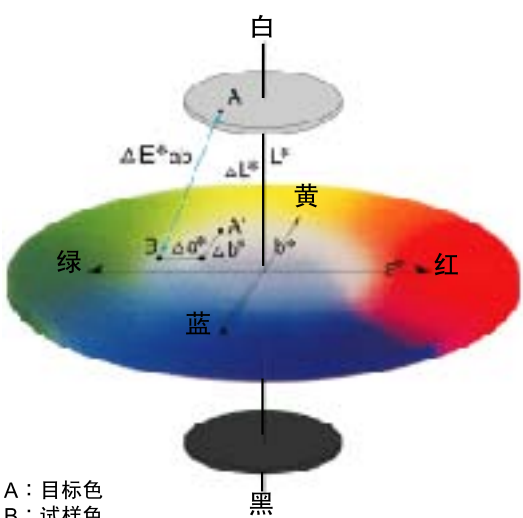
图13使我们易于理解以L*a*b*色空间表示的色差。在L*a*b*色空间中，色差可以表示为一个单一数值 ΔE^*_{ab} ，它表示了色差的大小但是并没有说明到底有何不同。 ΔE^*_{ab} 由下列方程式确定：

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

如果我们把上面显示器A中的 $\Delta L^* = +4.03$ ， $\Delta a^* = -3.05$ 和 $\Delta b^* = +1.04$ 代入该方程式，我们可以得到 $\Delta E^*_{ab} = 5.16$ ，这就是在显示器A左上角上所显示的值。如果我们用L*C*h色空间测量两个苹果之间的色差，我们可以得到上面显示器B所示的结果。 ΔL^* 的值和以L*a*b*色空间测量的值相同， $\Delta C^* = -2.59$ ，说明苹果②的颜色的饱和度稍差一点。两个苹果之间的色调差 ΔH^* (由方程式 $\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$ 所确定)为+1.92，如果我们查看一下图14，则它意味着苹果②的颜色稍稍接近于+b*轴，因而更为黄一点。

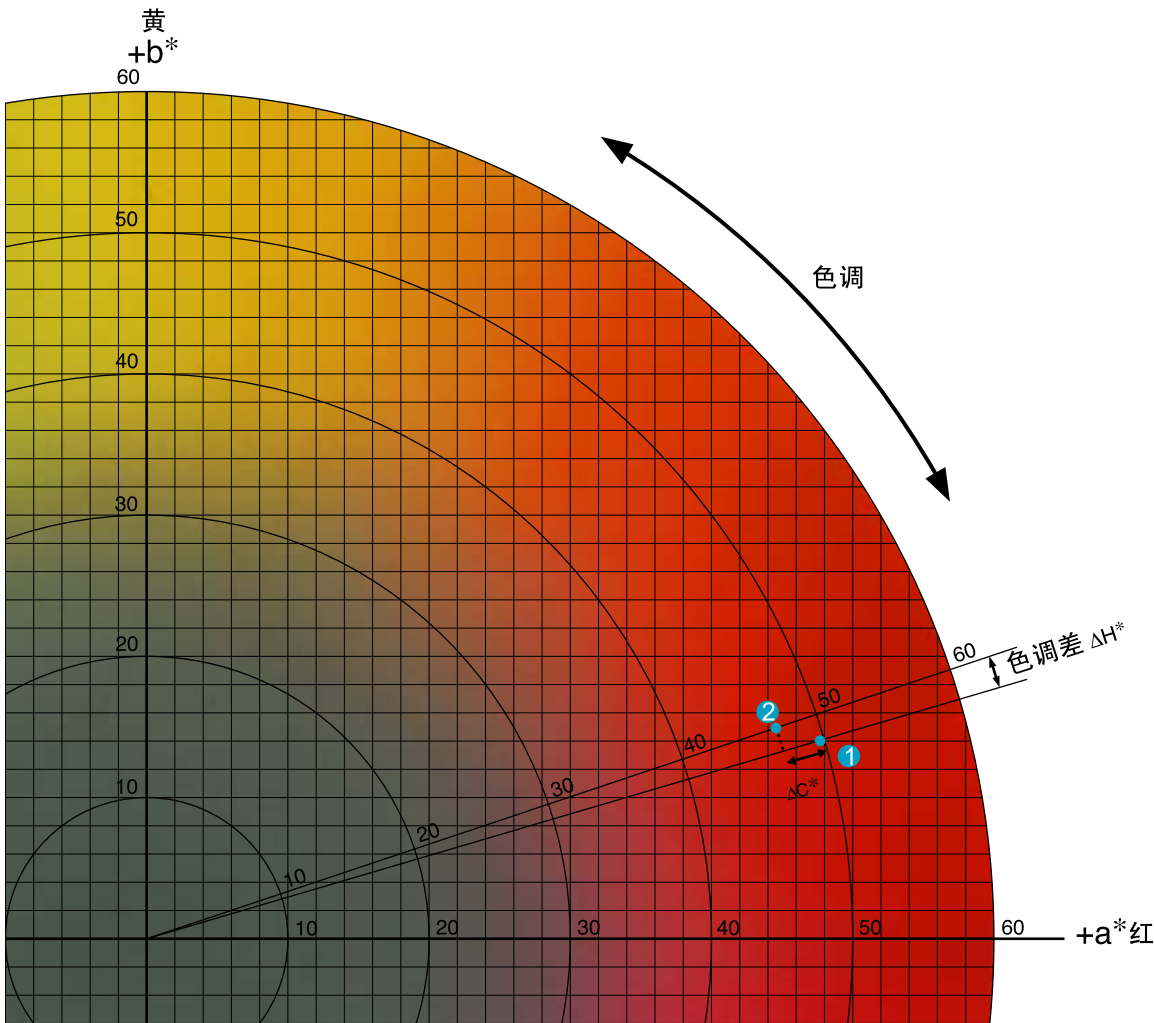
• “Δ”(delta) 表示差值的符号。

图13 :
以L*a*b*色空间表示的色差



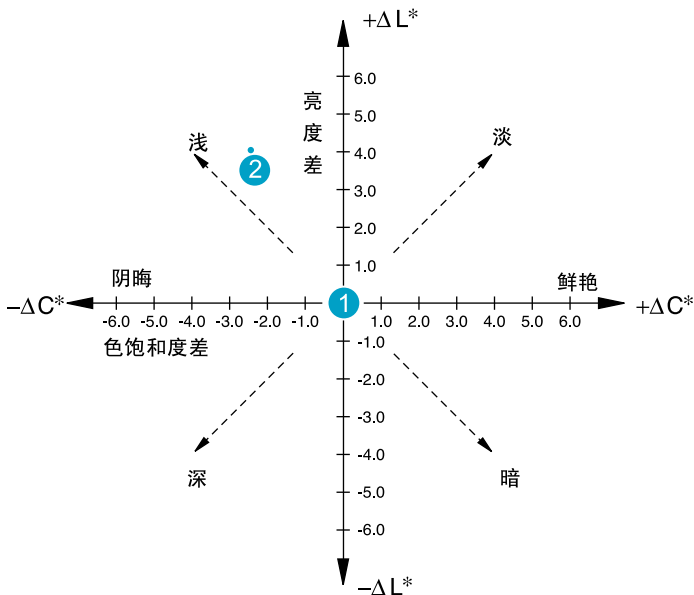
A : 目标色
B : 试样色
C : 和试样色亮度相同的目标色

图14 : a*b*色度图的一部分



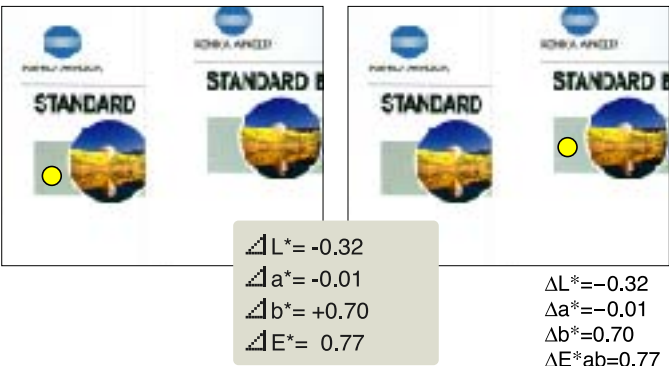
我们可以用文字来描述色差，尽管用文字不如用数字来得精确。图15表示某些用来描述亮度差和色饱和度差的术语；在该图上表示的术语指出色差的方向，但如果未附带使用修饰词(稍微、十分等)，就不指明色差的程度。从图上所标出的两个苹果的值，我们就可以说苹果②要比苹果①来得浅淡一些；还因为他们之间的色饱和度之差并不是很大，所以我们还可以加上一个修饰词，说苹果②的颜色“稍微浅淡一些”，来说明差别的程度。

图15 : 描述亮度差和色饱和度差的术语

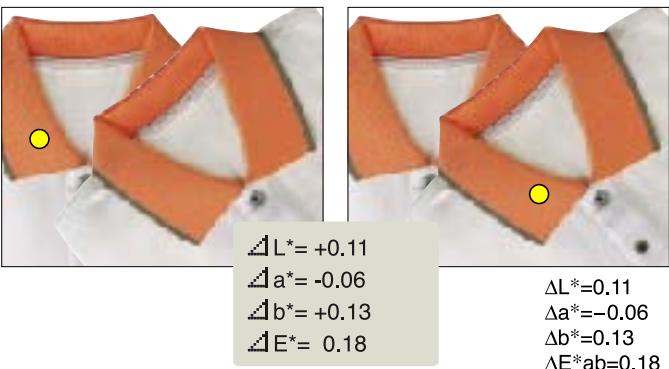


某些颜色从人眼看来是一样的，但是用色度色差计还可测出其中的细微差别。

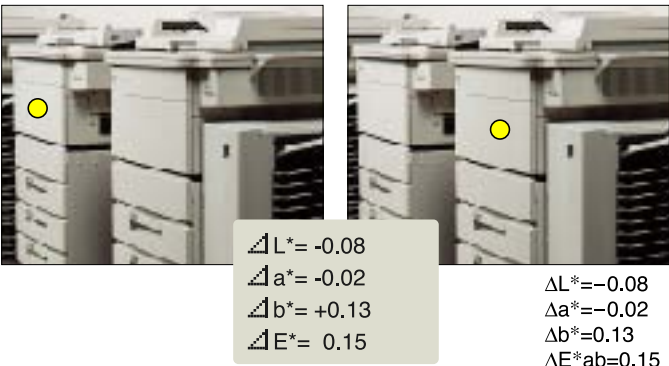
第22页上两个苹果的颜色由人眼看来是一样的，但是当用色度色差计测量时还可以发现其间有细微差别，而且这种差别能以数字方式表示出来。如果顾主投诉某项产品的颜色不正常，而该产品在启运时却未发现有任何问题。这种投诉所造成的影响不仅仅限止在公司的销售部门和生产部门，而且会损害整个公司的信誉。在防止产生这类问题中，颜色的调控起到十分重要的作用。



印刷品的颜色调控



纺织品的颜色调控



塑料制品的颜色调控

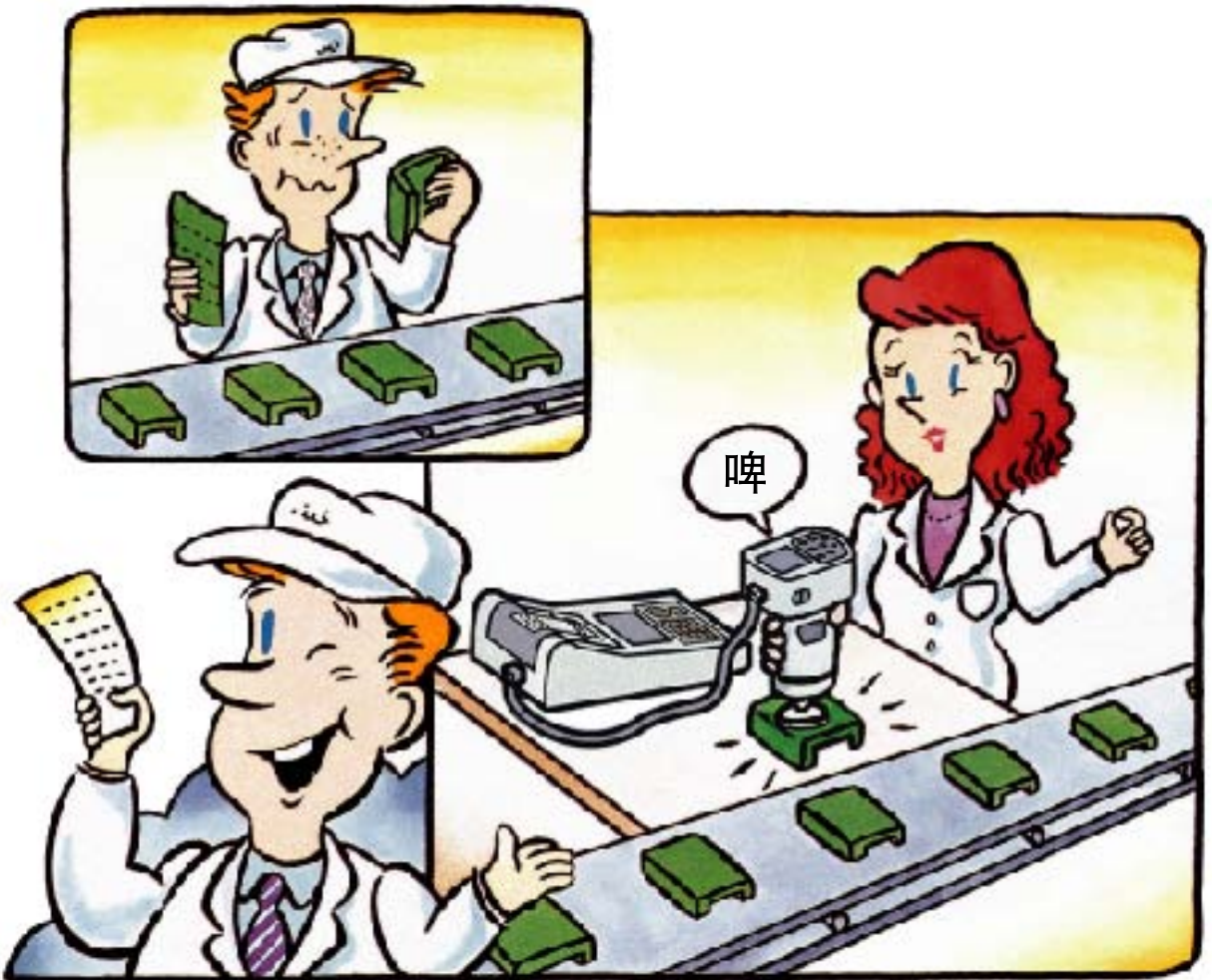
● 指出测量点

利用色彩色差计进行质量控制的一个例子。

让我们看一看色彩色差计对颜色调控是多么有用。

公司A生产某种塑料的外部部件，为公司B所订购。公司B还从别的公司也订购同样的部件。

在A公司内，一位专职检验员负责生产线上的颜色调控，并用和色样相比较的办法目视评价产品。用目视检查法来测定产品是否在色样所规定的验收范围之内取决于有经验检验员的目力。这项工作别人是干不了的，这需要多年的经验来积累目视检查能力。因此，能干这种工作的人是有限的。还有，每天或每周只能有一段有限的时间来进行这一道工序，而且目视判断的准确性还要随检查员的年龄和身体条件而改变。有时，B公司认为A公司提供的部件的颜色与别的供应商产品的颜色不符而向A公司退货。于是A公司决定在生产线上用色彩色差计对其产品进行颜色调控。由于色彩色差计为手持式，使用方便，测量迅速，甚至任何时候都能在生产线上使用，因而被十分普遍地应用。还有，在产品交货时能同时提供由色彩色差计测得的数据作为公司质量控制的证明。



色彩色差计的特点

色彩色差计有许多特点

内藏式光源

内藏式光源和双光束反馈系统对所有的测量确保物体的均匀照明，并可按照CIE标准光源C或C65计算测量数据。

数据存储器

测量数据在测量时自动存入数据存储器并可打印出来。

数据通信

RS-232C标准数据通信可用来输出数据或控制色彩色差计。

数据显示器

测量结果以精确的数字形式和以多种色空间显示，以便能和他人进行容易而准确的通信。



恒定的照明/观察角

照明/观察几何结构是固定的，以确保均匀的测量条件。

恒定的“观察者”

色彩色差计的“观察者”是三个为一组的光电池，它们经过过滤来和CIE1931标准观察函数密切一致。因此对所有的测量而言观察条件都是均匀的。

消除面积效应和对比效应

由于色彩色差计只测量样品(假设样品最小为规定的最小尺寸)，因此，不同的样品面积效应或对比效应均可被消除。

色差测量

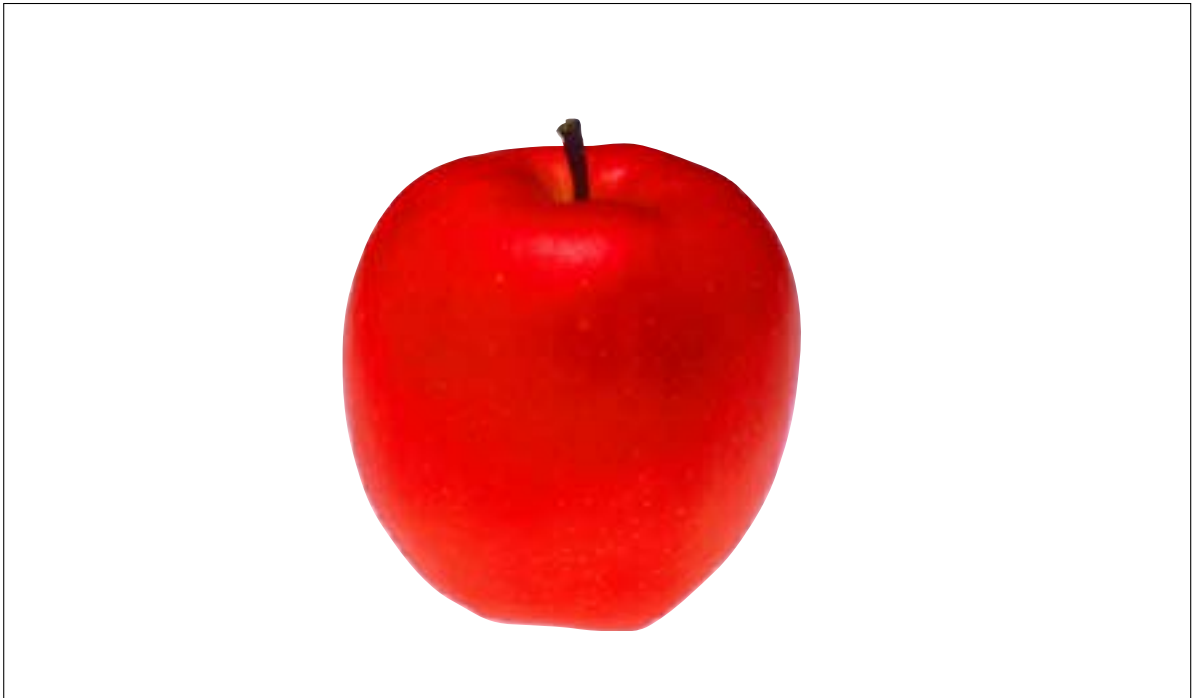
可以测量与目标色的色差并立即以数字形式显示。

• 图为柯尼卡美能达色差计CR-400

让我们更详细一些 地来研究颜色

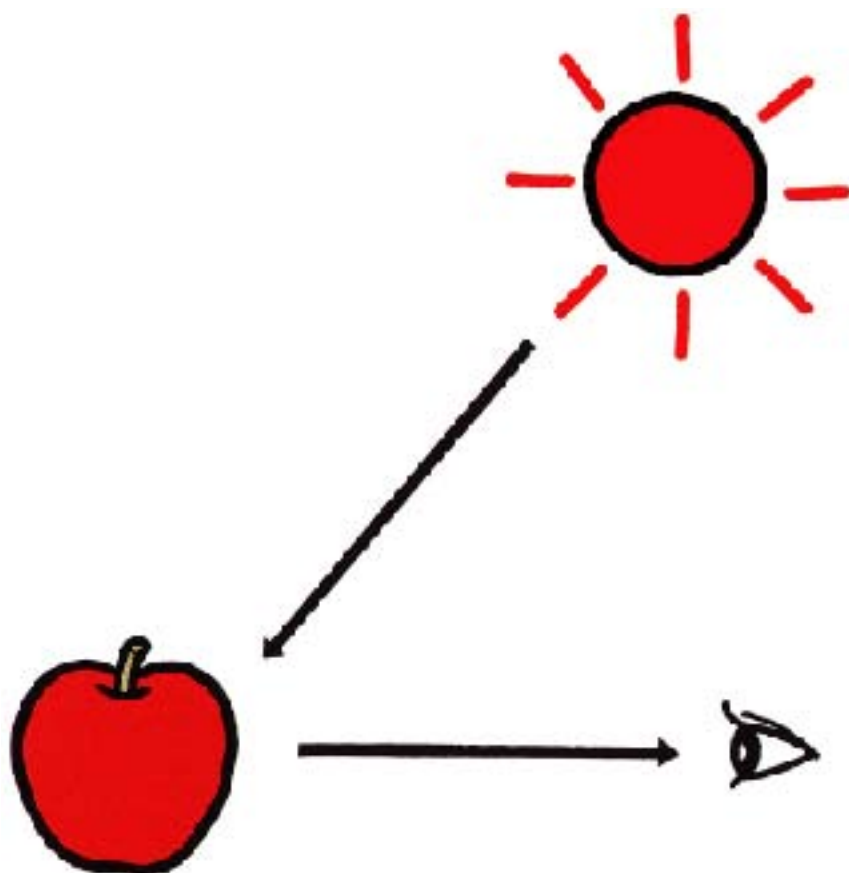
在前面几页里，我们已经谈到颜色是怎么回事以及如何表示颜色。下一部分里，我们将讨论颜色的基本原理，例如是什么使得苹果是红的，以及为什么同样的颜色在不同条件下看起来不一样。大多数人认为这些事情是理所当然的事，但是真正懂得的人却很少。对于生产部门或科学实验室里的颜色调控来说，要求是较为严格的，有必要对颜色的性质知道得更多一些。让我们对颜色的世界作更深入的研究。

为什么苹果看起来是红色的？

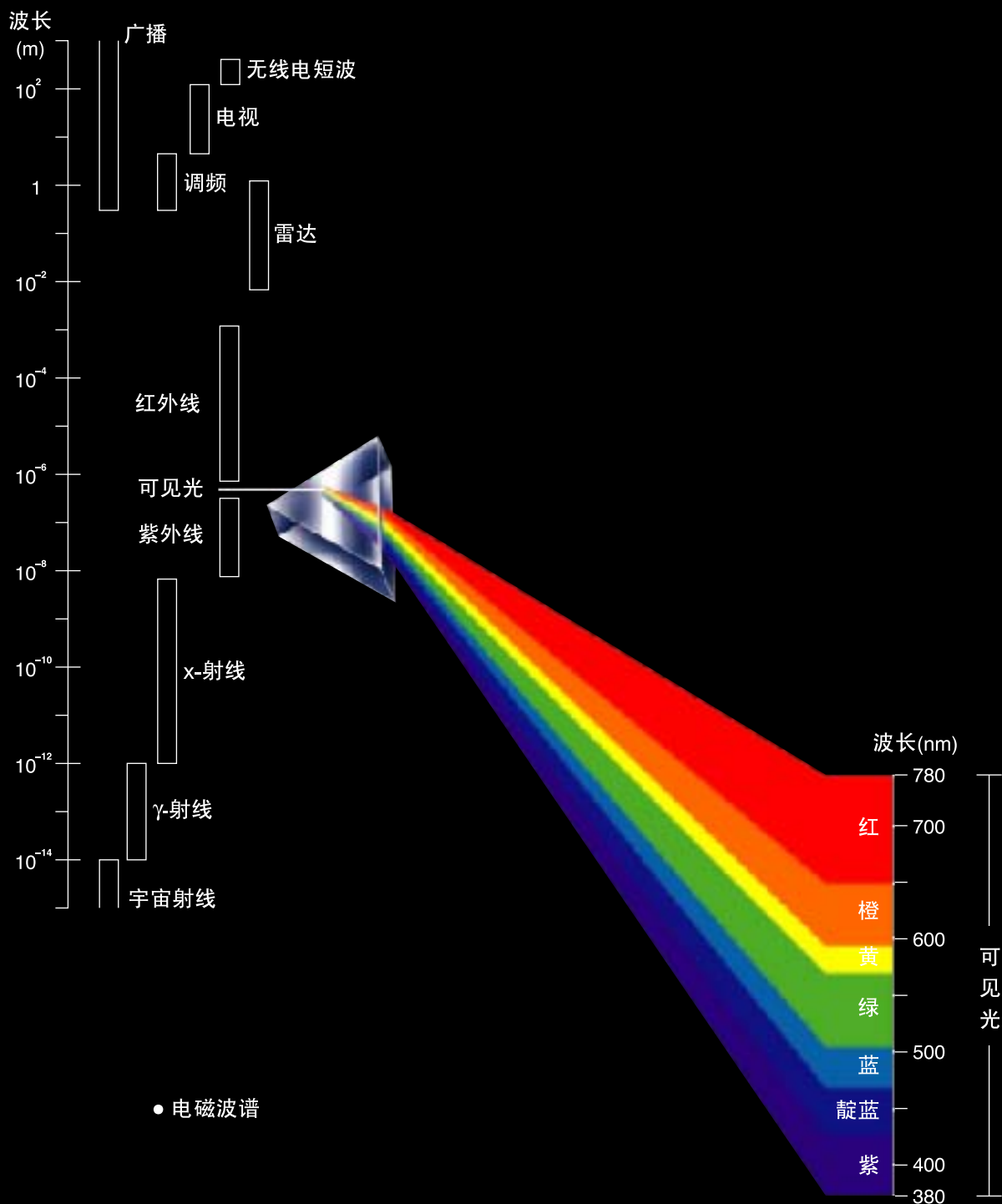


没有光就没有颜色。光、视觉和物体是我们能看出颜色的三个必要条件。

在全黑条件下，我们看不到颜色。如果我们闭上眼睛，我们就看不到物体的颜色。如果没有物体，颜色也就不存在。光、视觉和物体，三者缺一，我们就看不到颜色。但是我们如何来区别颜色，区别苹果的红色和柠檬的黄色呢？



人类可以看到作为颜色的特定波长



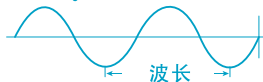
如果我们把光线按其不同波长分离，我们可以得到一个光谱。如果我们把分离开来的光的波长以各种不同的强度混合起来，我们就可以得到各种不同的颜色。

大多数人都知道，如果我们让日光穿过一块三棱镜，我们就可以得到类似虹那样的颜色分布。这一现象是由英国物理学家艾萨克·牛顿发现的。这种颜色分布称为光谱；把光线分离成谱称为光谱色散。

人眼之所以能看到色谱，是因为这些特定的波长刺激了人眼中的视网膜。按照光的不同波长，色谱的顺序安排为红、橙、黄、绿、蓝、靛蓝、紫；在波长最长的区域内的光线看来就是红的，波长最短的区域内的光线看来就是紫的。人眼可以看到的光区被称为可见光区。如果我们超出可见光区以外向波长更长的一边移动，则就进入红外线区；如果我们向波长更短的一边移动，则进入紫外线区。这两个区均不能为人眼所见。

光仅仅是穿越宇宙空间的各种电磁波中的一部分。电磁波频谱的范围极宽，波长从几千公里的电波和无线电波直到波长为 10^{-13}m 或更短的 γ 射线。可见光区仅仅是电磁波频谱中极小的一部分：波长为380到780nm^{*2}。由物体反射的光—在我们看来就是颜色—实际上就是在可见光区域内各种波长的光的混合(人工合成的单色光例外)。

^{*1} 波长：光具有波的性质；波长是两个相邻的波的峰到峰之间的距离。



^{*2} nm(毫微米)：一种常用的量度光的波长的单位。有时也用 μm (微米)

$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}=10^{-6}\text{mm}=10^{-3}\mu\text{m}$
 $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}=10^{-3}\text{mm}=1000\text{nm}$



• 日光穿过空气的水滴，犹如穿过三棱镜一样，形成了虹。

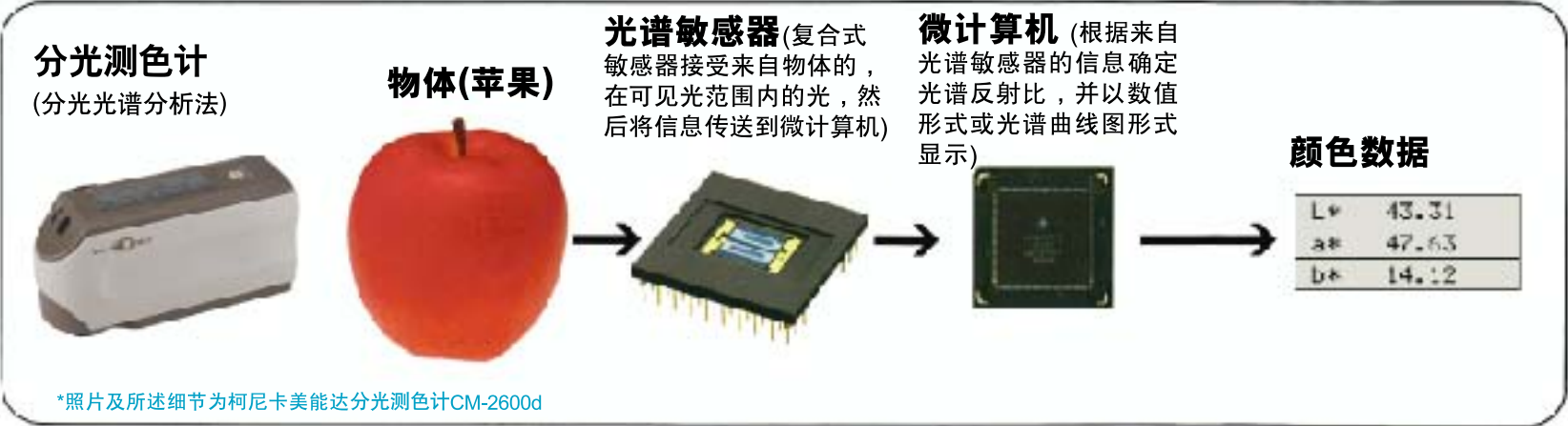
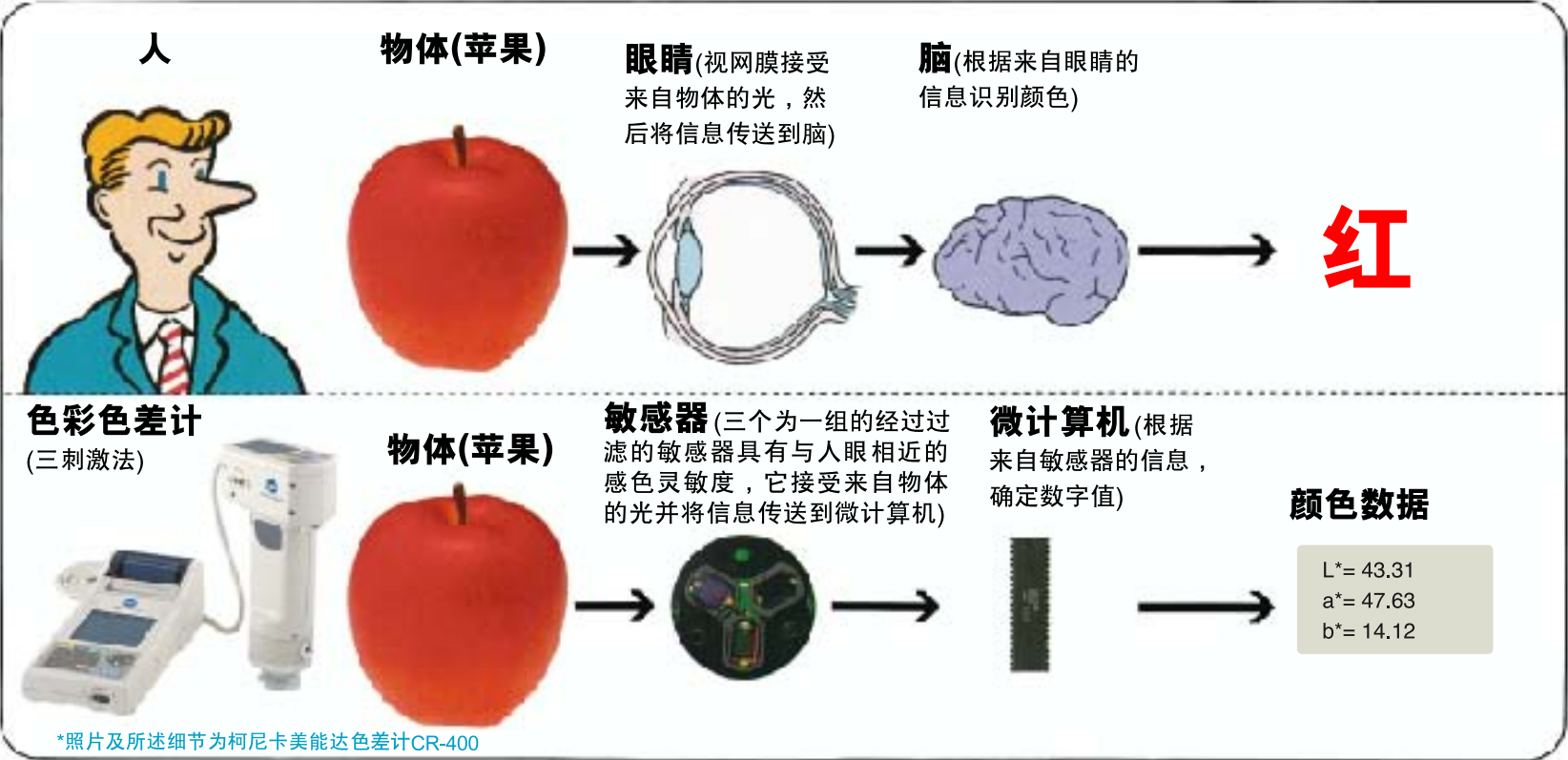
光线进入我们的眼睛给我们以色感的过程，以及色彩色差计测色的过程，这两者之间有何区别？

人眼可以看到在可见范围内的光；但是，“光”和“颜色”并不是一回事。光的定义为：“刺激眼睛视网膜的辐射线，并使眼睛产生视觉。”对眼睛的刺激传送到脑，在脑子里首先产生“颜色”这一概念，作为脑对接收来自眼睛的信息的反映。在图16中可以看到人感觉颜色的原理以及色彩色差计感受颜色的原理，两者基本上是类似的。在第①部分中讨论过的色彩色差计所应用的方法称之为三色刺激法；用这种方法设计出来的色彩色差计，以与人眼如何感觉光相等同的方法来测量光。

另外一种将在本节里解释的测色方法称为分光光谱分析法，使用这种方法的测色仪器用来测量光的光谱特性，然后根据CIE标准观察者函数的方程式来计算三刺激值。利用分光光谱分析法的仪器除了以各种色空间显示数字数据之外还可以直接显示光谱数据，提供有关该物体的更为详细的信息。

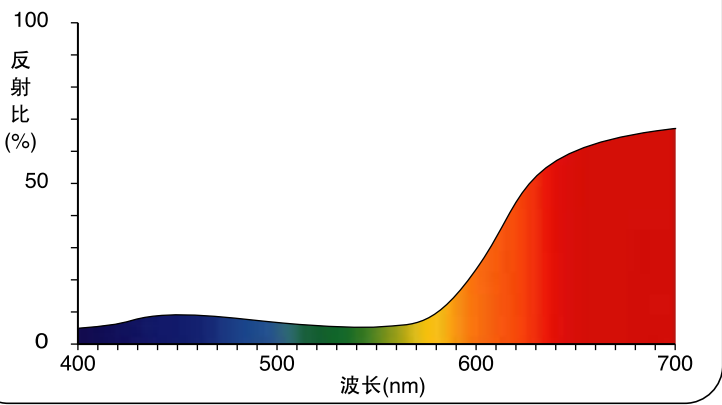
有关两类测色仪器的详情，请参阅P.38

图16：色感法



光谱反射比曲线图

分光测色计除了显示颜色数据以外，还可以显示颜色的光谱反射比曲线。如在P.31所解释的那样，颜色是各种波长的光以适当的比例混合而成的。分光测色计测量物体以各种波长或各种波长范围所反射的光，然后以曲线图的形式显示出来，提供更为详细的有关该颜色的性质。



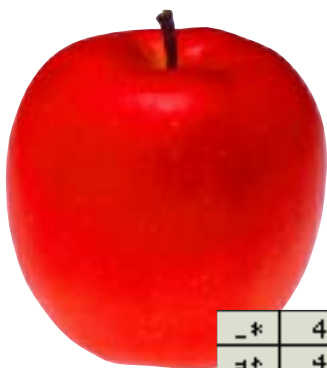
&

利用分光测色计来看光(和颜色)的组成

一物体把来自光源的光吸收掉一部分，并反射出其余的光。这部分反射光进入人眼，由此而产生的对视网膜的刺激由脑辨认为物体的颜色。每个物体以不等的量吸收和反射光谱不同区段的光；这种吸收比和反射比上的差别就使不同的物体有了不同的颜色。



苹果

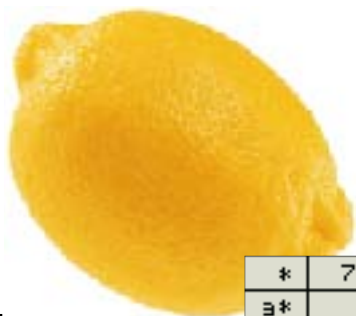


L*	43.31
a*	47.62
b*	14.12

如果我们测量一个苹果，我们得到如图17a所示的光谱曲线图。在曲线图上我们可以看到在红色波长区内反射比(反射光的量)高，但在其他波长区反射比(反射光的量)低。图17b表示苹果反射橙色和红色波长区的光，同时吸收绿、蓝、靛蓝、紫色波长区的光。因此，用分光测色计进行测量，并把结果显示在光谱曲线图上，我们就能看到苹果颜色的性质。

分光测色计的每一个复合式敏感器(在柯尼卡美能达分光测色计CM-2600d内有40个)在可见光波长范围内严格规定的波长区内测量光。由于这一点，分光测色计可以测量人眼注意不到的色素之间的差别。

柠檬



L*	75.34
a*	4.11
b*	68.54

如果我们测量一个柠檬，我们可以得到如图18a所示的光谱曲线图。在该图上我们可以看到，在红色和黄色波长区内反射比(反射光的量)高，但在靛蓝和紫色波长区内反射比(反射光的量)低。图18b表示柠檬反射绿，黄和红色波长区的光，同时吸收靛蓝和紫色波长区的光。这就是柠檬颜色的性质。如此高的准确性，人眼或甚至在第①部分中讨论过的色度色差计是不可能达到的；而只有分光测色计才能达到。

图17a：苹果的光谱反射比曲线图

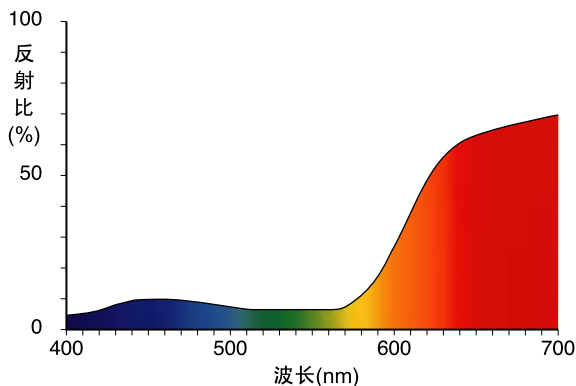


图17b：

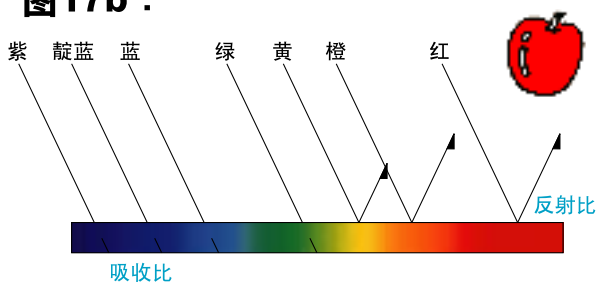


图18a：

柠檬的光谱反射比曲线图

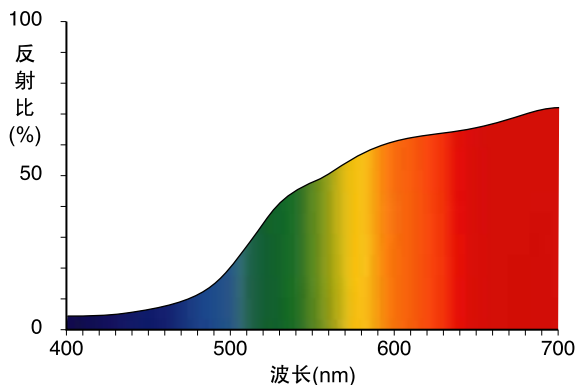
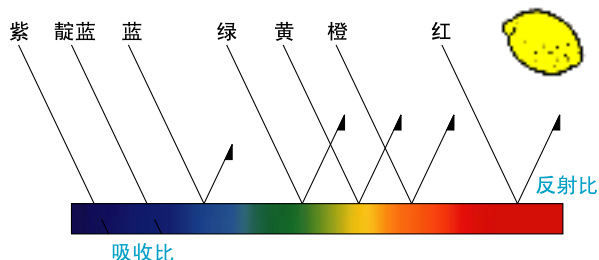


图18b：



用分光测色计测量各种颜色

当我们用在第❶部分中所说的三刺激色彩色差计(P.21)来测量物体时，我们只能得到以各种色空间表示的数字式颜色数据。如果我们用分光测色计来测量，我们不仅可以得到各色空间的数字数据，还可以看到这种颜色的光谱反射比曲线，还有，由于分光测色计有高精度的敏感器，且包括种种照明条件数据，它可以提供比用三刺激色彩色差计获得的更高的精确性。

A：瓷砖



我们测量了一块粉红色的瓷砖。从光谱反射比曲线我们可以看到该瓷砖反射各种波长的光，以及在600nm(橙色和红色区)以上波长区内的光谱反射比要比其他波长区的稍高一点。

L*	74.72
a*	15.34
b*	10.21

D：印刷品



我们测量了蓝色的商标。它的光谱反射比几乎与B的光谱反射比相同。但如果我们仔细查看，我们可以注意到在波长长于600nm时光谱反射比更低。所以这是稍暗一点的蓝色。

Y	16.02
x	0.1693
y	0.1995

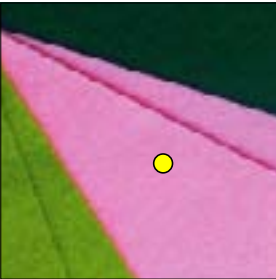
B：橡胶



这是鲜蓝色。在400到500nm(靛蓝和蓝色区)波长区之内的光谱反射比是高的，而波长长于550nm以上时，光谱反射比是低的，在该区内几乎所有光线均被吸收。

L*	37.47
a*	7.07
b*	-47.77

E：纺织品



我们测量了布匹的粉红色区域。整个波长范围的光谱反射比是高的，特别是在600nm左右。另外，在500nm左右的光谱反射比较低，说明绿光和黄光被吸收。

L*	75.47
D*	37.34
h	359.19

C：塑料



我们测量一块紫红色的塑料部件，在400nm和700nm左右波长区内光谱反射率高，而从500到600nm波长区内光谱反射率低，而且我们可以看到这一波长区的光已被吸收。

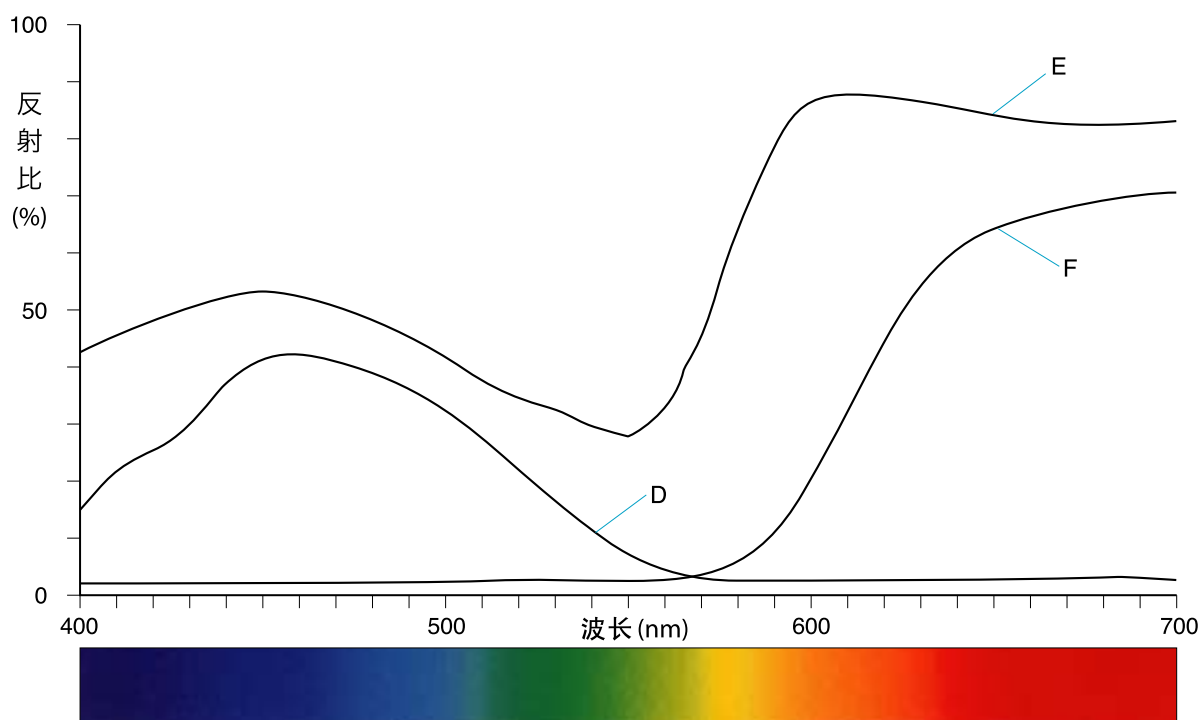
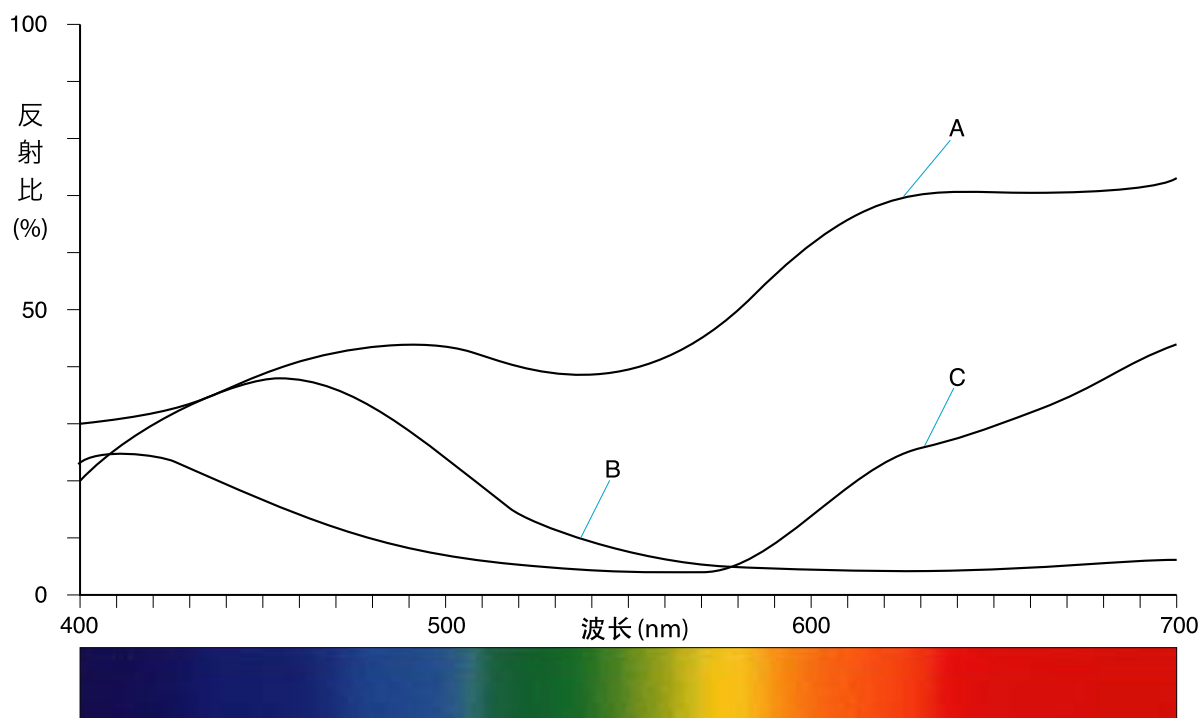
L*	34.27
a*	44.53
b*	-21.92

F：油漆



这是鲜红色油漆。只有600到700nm(红色和橙色区)波长区的反射比为高，大多数波长低于600nm的光被吸收。

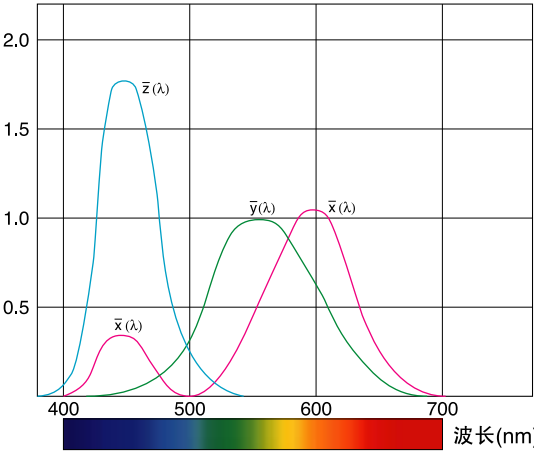
HL	28.30
a	52.83
b	17.33



三刺激法和分光光谱分析法的区别

在第31页上我们讨论了色谱的颜色(红、橙、黄、绿.....)。对这些颜色中的红、绿、蓝色通常被看作光的三原色。这是因为人眼具有三种视网膜锥状细胞(色敏感器)，它们对这三原色很敏感从而使我们看到颜色。图19表示根据CIE 1931标准观察者定义画出的，与人眼相符的光谱灵敏度曲线，这些被称为配色函数， $\bar{x}(\lambda)$ 在红波长区具有高灵敏度； $\bar{y}(\lambda)$ 在绿波长区有高灵敏度，而 $\bar{z}(\lambda)$ 在蓝波长区有高灵敏度。我们所看到的颜色，是我们从某物体所收到的光线中 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 不同成分(色刺激)的合成物。

图19：
与人眼相符的光谱灵敏度曲线
(CIE 1931标准观察者配色函数)



如在图21b中所示，三刺激法利用三个经过过滤的敏感器使具有与人眼相同的 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 灵敏度来测量物体的反射光，从而直接测量三刺激值X,Y和Z。另外图中，分光光谱分析法利用复合敏感器(在CM-2600d中有40个)来测量物体在每一个波长或每一个窄波长范围内的光谱反射比。于是该仪器的微计算机根据光谱反射比数据通过积分来计算三刺激值。对例中所用的苹果，三刺激值为X=21.21，Y=13.37,Z=9.32；这些三刺激值于是可用来计算其他色空间如Yxy或L*a*b*中的值。

图20表示三刺激值X，Y和Z是如何确定的。由试样(苹果)反射出来的具有光谱分布特性A的光，射到具有光谱灵敏度特性为B的敏感器上，敏感器的过滤器把光线按照三原色分隔成三个波长区，而敏感器就输出三刺激值(X，Y和Z)C。因此C=A×B。在为C的三个波长区中的结果表示为C-1： $\bar{x}(\lambda)$ ，C-2： $\bar{y}(\lambda)$ 和C-3： $\bar{z}(\lambda)$ 。三刺激值等于在三个曲线图中阴影区的积分。

图20：在颜色测量中三刺激值的确定

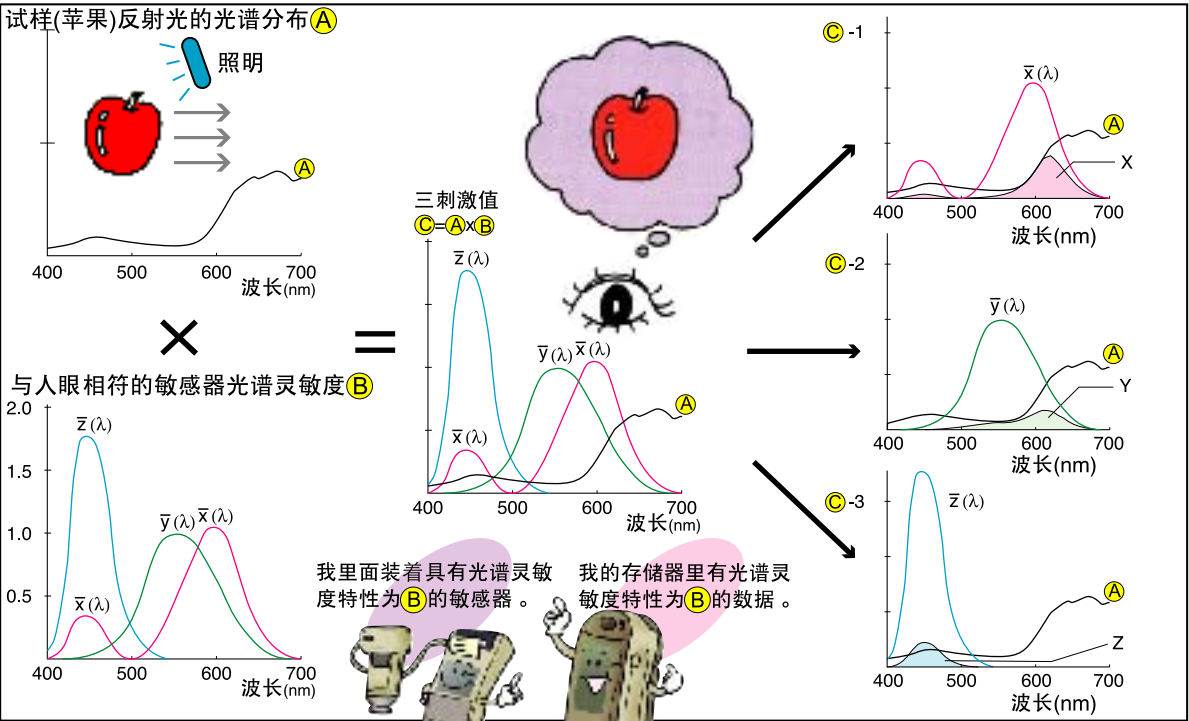
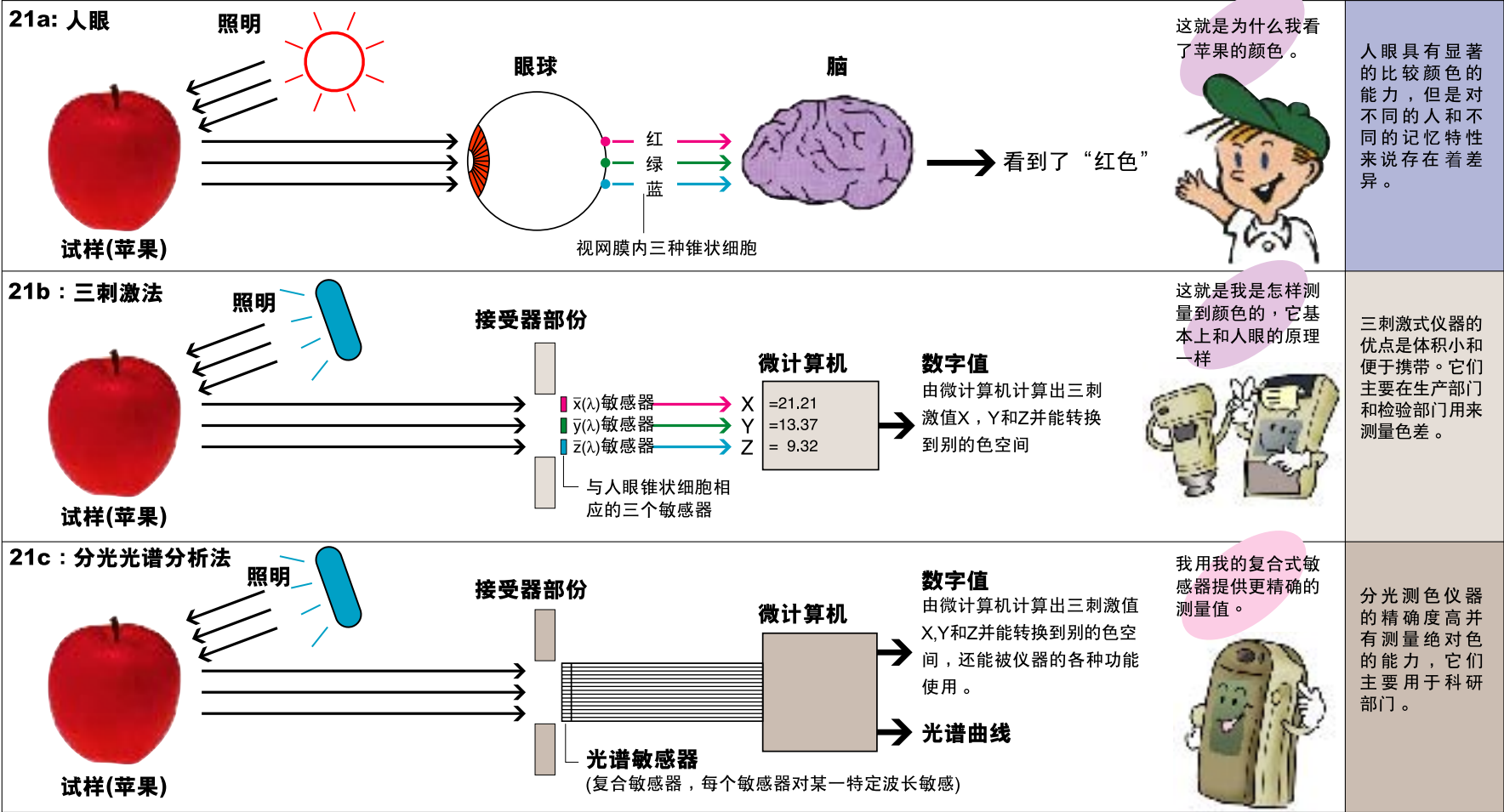


图21：人眼与仪器测量法



当光源改变时为什么颜色会显著地改变？

我们在第7页上说过，不同的光源使颜色看起来不一样。为了测量颜色，CIE规定了几种不同类型的典型光源的光谱特性。图22标示出某几种光源的光谱能量分布。光源通常安装在测色仪器内部，这种光源也许符合也许不符合CIE的任何一种标准光源，但是这种仪器通过根据在仪器光源之下实际测得的数据和储存在仪器存储器里的标准光源的光谱分布数据进行的计算，来确定在所选光源下测得的数据。

图22a：标准光源

- ① 标准光源D65：相关色温为6504K的正常日光(包括紫外线波长区)，应用来测量被日光(包括紫外线辐射)所照明的试样。
- ② 标准光源C：相关色温为6774K的正常日光(不包括紫外线波长区)，应用来测量被可见波长范围(但不包括紫外线辐射)内的日光所照明的试样。
- ③ 标准光源A：相关色温为2856K的白炽灯光，应用来测量被白炽灯光所照明的试样。

图22b：荧光光源(由CIE推荐供测量用)

- ④ F2：冷白
- ⑤ F7：日光
- ⑥ F11：三窄带冷白

图22c：荧光光源(由JIS推荐供测量用)

- ⑦ F6：冷白
- ⑧ F8：日光白
- ⑨ F10：三窄带日光白

图22：CIE光源的光谱能量分布

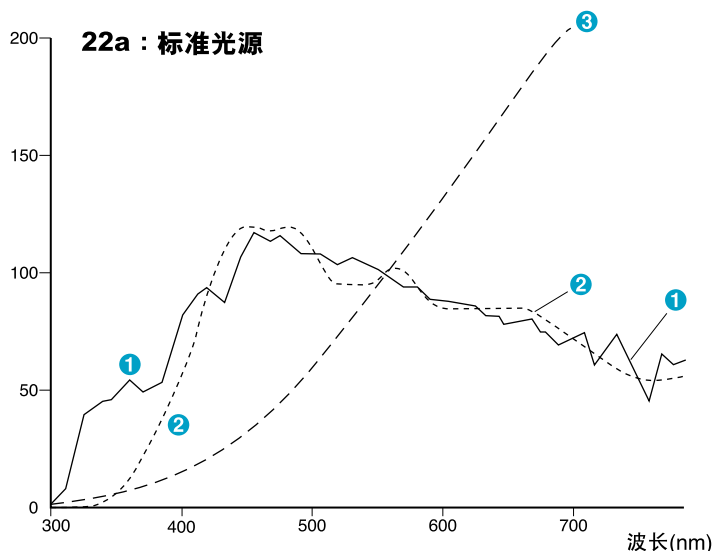
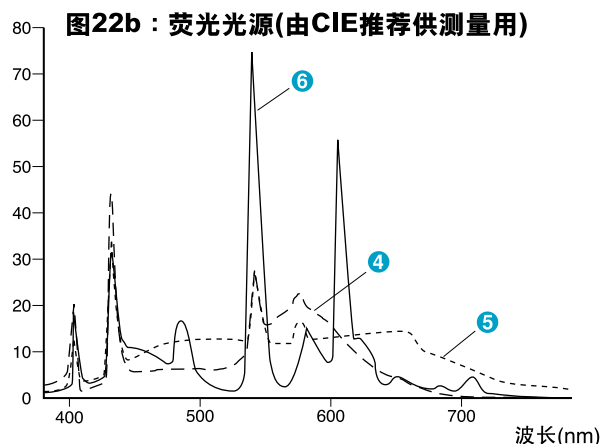
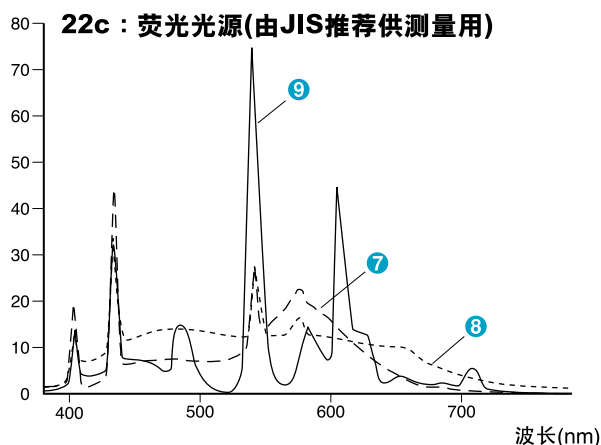


图22b：荧光光源(由CIE推荐供测量用)



22c：荧光光源(由JIS推荐供测量用)

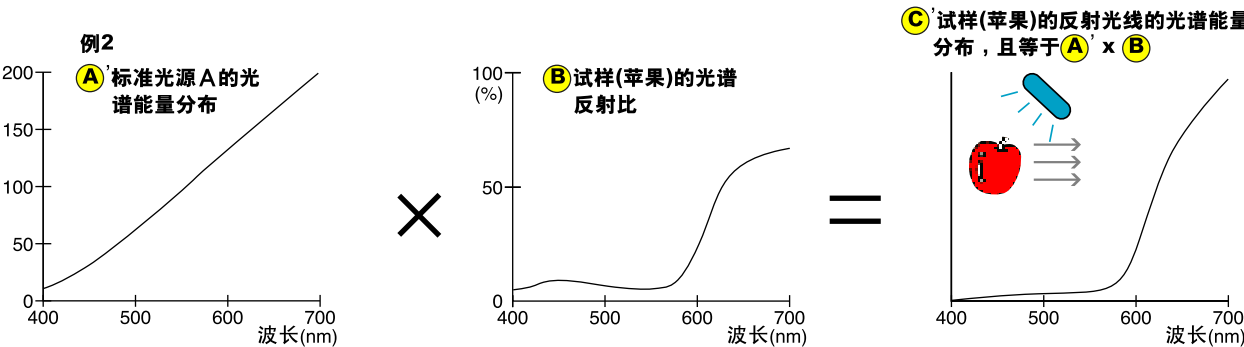
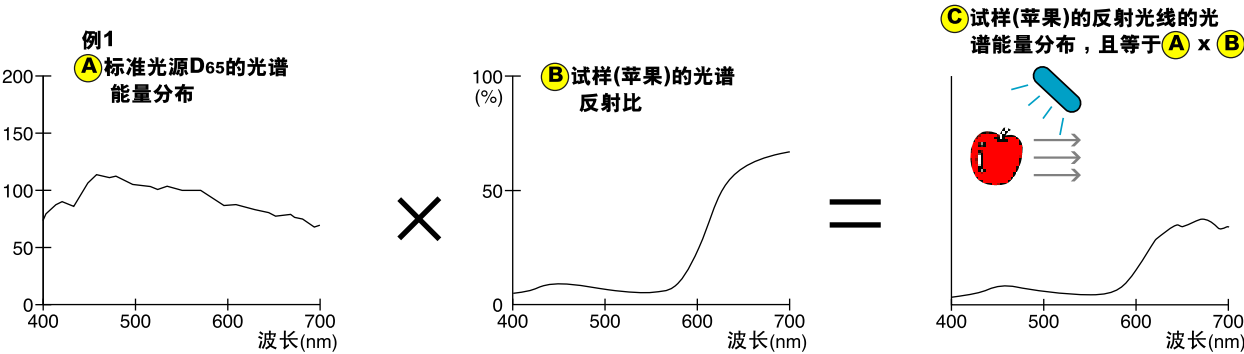
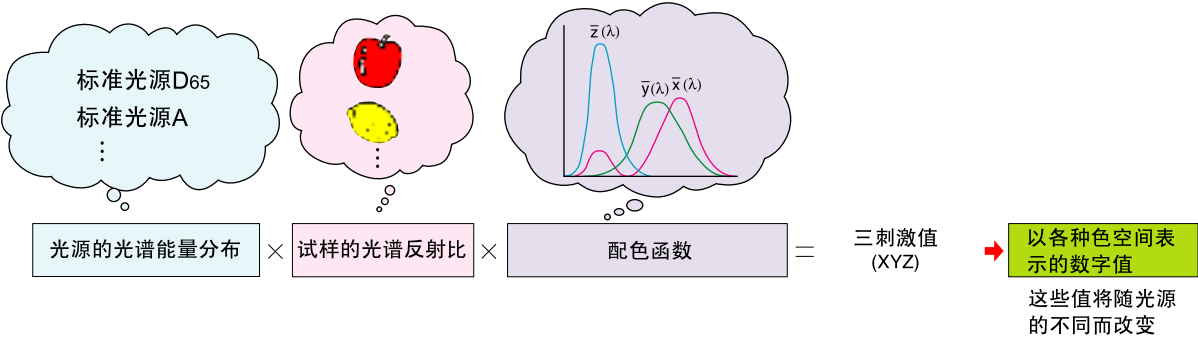


我只有①和②两种数据

我有从①到⑨所有各种数据



让我们来看一看下面两个例子：如果我们用一台分光测色计在标准光源D₆₅(例1)和标准光源A(例2)照明之下测量我们的试样(苹果)，将会发生什么情况。在例1中，**A**是标准光源D₆₅的光谱能量分布曲线，**B**是苹果的光谱反射比曲线，**C**是苹果反射光线的光谱能量分布曲线，且等于**A**和**B**的乘积。在例2中，**A'**是标准光源A的光谱能量分布曲线，**B**是试样苹果的光谱反射比曲线，**C'**是试样苹果反射光线的光谱能量分布曲线，且等于**A'**和**B**的乘积。如果比较**C**和**C'**，我们可以看到，在**C**中红区的光线更强一些；意思就是说，在标准光源**A**的照明之下，该苹果看起来更加红一些。这说明一物体的颜色随所受照明光线的不同而改变。分光测色计真实地测量试样的光谱反射比，并利用所选标准光源的光谱能量分布数据和标准观察者配色函数数据，以各种色空间来计算数字式色值。



分光测色计甚至能处理复杂的条件等色现象问题

在前面一节里我们讨论了一物体的颜色为什么随所受照明的光线而不同。一个与之有关的问题是：例如，两物体在日光下的颜色显得是一样的，但是在室内灯光照明之下却显得有差别。这种两种颜色在一种光源之下显示相同，但在另一种光源之下显出不同的现象，称为条件等色现象。对于有条件等色现象的物体，两物体颜色的光谱反射特性是不一样的，但是在某一种光源照射之下产生的三刺激值是一样的，而在另一种光源照射之下则互显差异。这一问题常常是由于使用不同的颜料或材料所形成的。

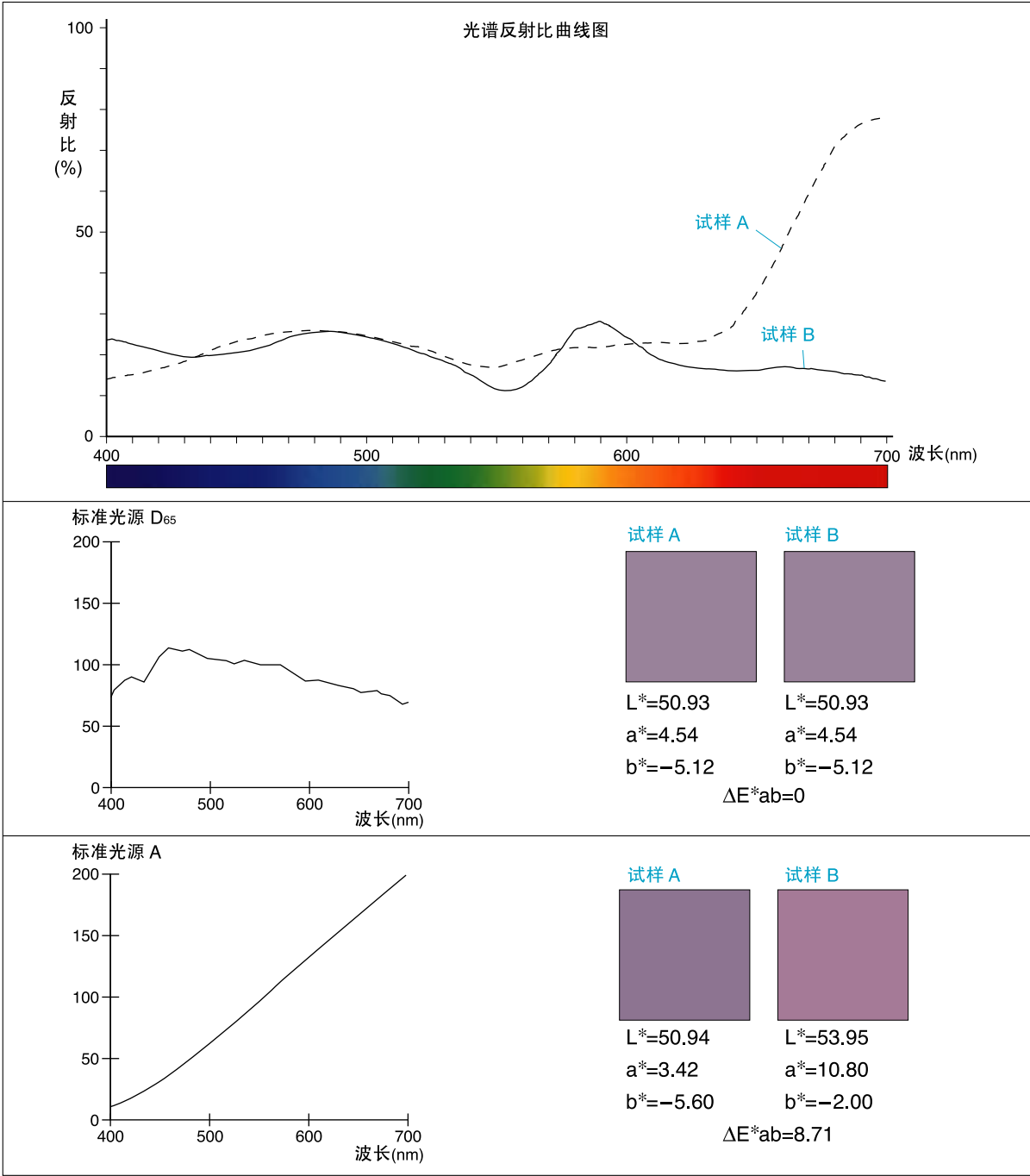
请看图23。如果我们看一下两件试样的光谱反射比曲线，我们立即可以看出它们是不一样的。然而这两件试样在标准光源D₆₅之下所测得的L*a*b*值却是一样的，但在标准光源A之下这两个值却又不是一样的。这说明尽管两件试样的光谱反射特性不一样，但是在日光(标准光源D₆₅)照射之下它们的颜色看起来是一样的。

至于如何来对待条件等色现象呢？要评价条件等色现象，必需用两种以上的光谱能量分布截然不同的光源，例如标准光源D₆₅和标准光源A来测量试样。虽然三刺激色彩色差计和分光测色计都使用一种光源，但他们可以根据存储器里的光源数据来计算测量结果，为在各种不同光源下所作的测量提供数据。

三刺激色彩色差计通常只在标准光源C和标准光源D₆₅之下作测量，这两种光源均相当于日光并具有十分相似的光谱能量分布；正因为如此，三刺激色度色差计不能用来测量条件等色现象；而另一方面，分光测色计则装备有各种各样光源的光谱能量分布特性，因此能测量条件等色现象。此外，分光测色计还能显示光谱反射比曲线，你可以确切地看到这两种颜色的光谱反射比是如何不一样的。



图23：条件等色现象



分光测色计的特点

分光测色计具有多种特点和高度精确性

光源条件

在存储器里存有许多CIE光源数据，使之能在各种光源条件下计算测量结果。

数据存储器

测量数据在测量的同时自动存入存储器。

数据通信

RS-232C标准数据通信可以用来输出数据或控制分光测色计。

光谱反射比曲线的显示

测量结果可以显示在光谱反射曲线图上。



固定的照明/观察角

照明和观察的几何结构是固定的，以保证相同的测量条件。

光谱敏感器

光谱敏感器由许多小部件组成，用来测量各种波长间隔的光线而得到高度精确性。

色空间

测量数据可以用数字以各种色空间显示，包括Yxy, L*a*b*, 亨特尔Lab等。

色差测量

可以测量与目标色的色差，并可立即以数字方式显示，或者显示在光谱反射比曲线图上。

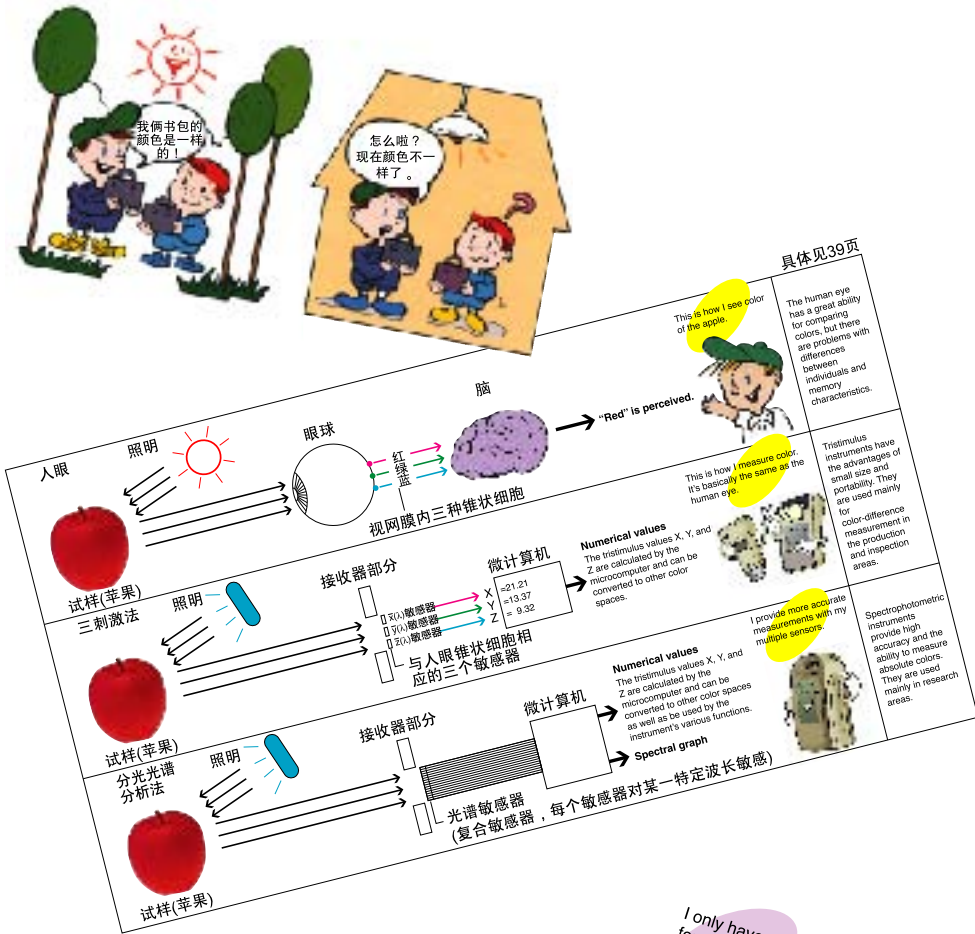
选择分光测色计的基本知识

关于颜色的基本常识已在第❶部分和第❷部分中作了说明并且我们现在应该也认识到分光测色计可以对各种颜色从不同角度进行分析。

让我们来研究一下更多关于影响选择分光测色计的特殊颜色和条件。

比较色度计与分光测色计

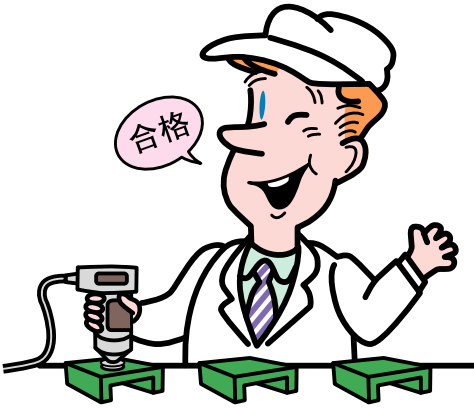
如同第①部分所说，三刺激值色度计有相对价格低廉，外形小巧，出众的灵便性以及操作简便的特点。它可以很方便地测得三刺激值。但是，色度计却不适合用于例如反射率光谱及色强度等复杂的色彩分析中。分光测色计具有高精度性和不断增加的多功能性。由于它可以测得每一波长下的反射率曲线，因此更适用于复杂的色彩分析。当然，分光测色计价格也比色度计更为昂贵。在选择不同类型仪器前，您必须考虑到在应用领域里对色彩精度的要求到底有多高。



我注意到了同色异谱，您可以通过我显示的反射曲线立刻明白同色异谱的原因。

我看不到同色异谱？

色度计主要用于生产线及产品检查中的色差测量。



分光测色计通常用于实验室和产品开发研究中的高精度色彩分析和管理。

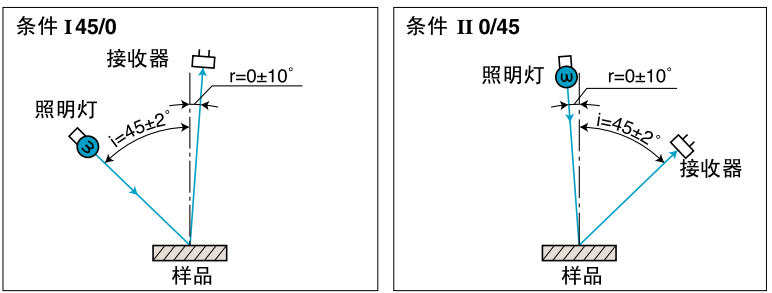


光学系统类型

物体颜色会随着观察条件，观察角度及照明角度不同而变化，这在第七页中已有说明。当一台仪器测量样品时，光源射向样品的角度以及传感器接收光线的角度，我们称之为几何光学结构。

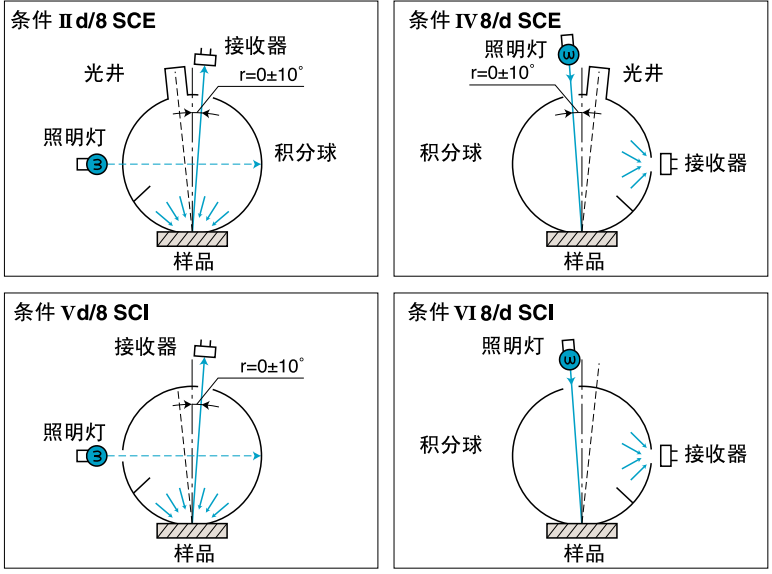
图24 单向照明系统

这是从一个方向提供照明的方式。在45/0结构中，样品表面被来自45±2度角的线形光照射，反射光被固定位置(0±10度)传感器接收。0/45结构中，样品表面由固定位置(0±10度)线形光提供照明并由45±2度的传感器接收反射光。



积分球散射照明系统

这种系统利用一个积分球，使光线从各个方面均匀地射向样品表面。(积分球是一个内表面涂有如硫酸钡这样的白色物质，能使光线均匀漫射的球形装置。)一台d/0结构仪器利用漫射照射样品并在固定角(0度)接收反射光线。一台0/d结构仪器从0度角照明样品并接收从各方向来的漫射光线。(±5度角内的镜面反射光可利用SCE/SCI功能来排除或包含在内)

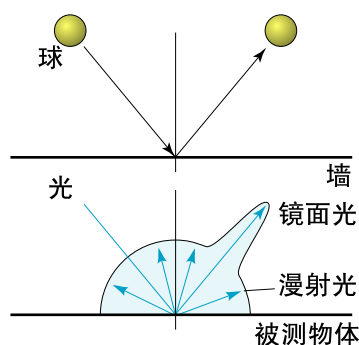


色彩与光泽度 (SCE和SCI方式)

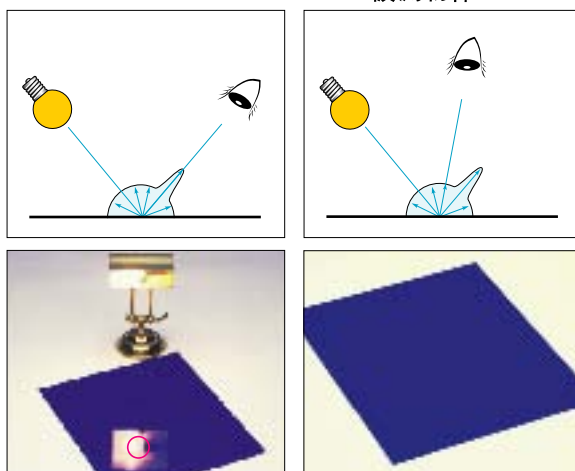
即使物体由相同材质构成，但由于表面光泽度的不同，也会使颜色看起来有所变化。例如，当平滑光亮的蓝色样品表面被沙纸磨擦后，为什么蓝色就显得暗淡一点了呢？



当弹性小球被投向墙面并反弹回来时，其角度是一样的。同样道理，由于光源照射产生从相同角度不同方向反射回来的光线，我们称为镜面反射光，因为光线就像是被镜子反射回来的一样。那些不是由于镜面反射而是向各个方向散射的光线，我们称之为漫射光。镜面反射光与漫射光的和就是我们说的反射光。



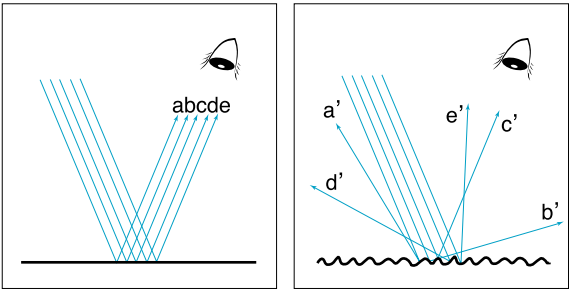
在光滑度高的物体表面上，镜面反射光相对就更强一些而漫射光弱一些。在那些低光泽度的粗糙表面上，情况则相反。当我们在镜面反射角位置观察表面光滑的蓝色塑料物体时，物体就显得不那么像蓝色，这是因为光源产生的镜面反射光被添加到了物体颜色里。通常来说人们在观察物体颜色时都忽略镜面反射光的。因此，在测量这类样品时，为了能使数据和物体看上去的一样，必须排除镜面反射光而只测漫射光。一个物体的颜色呈现出不同，就是因为我们的观察到的镜面反射光含量不同。



我们已经明白了，由于人们只观察漫射光的缘故，当物体表面条件发生变化时，颜色会呈现出不同。但是，由于物体本身材质都一样，因此物体的颜色不应该有变化。我们怎样才能得到材质本身的颜色呢？

镜面反射光和漫射光的含量是根据物体表面情况而定的。但在材料和颜色一定的条件下，两种光的总量总是一样的。因此，当表面光滑的蓝色塑料样品被磨粗糙后，镜面反射光含量减少了而漫射光含量增多了。这就是为什么我们需要测量全部反射光(镜面反射光与漫射光的和)。

47页图24中，条件III(SCE)和条件IV(SCE)中的光井位置显示了在测量样品时，如何排除镜面反射光。若如条件V(SCI)和VI(SCI)中所示，用球体取代光井后，测量样品时将包含镜面反射光。排除镜面反射光的测量颜色的方法称之为SCE (Specular Component Excluded)。包含镜面反射光的测量颜色的方法称为SCI (Specular Component Included)。



这些图表明
 $a+b+c+d+e=a'+b'+c'+d'+e'$ 。

在SCE测量模式中，镜面反射光被排除在外面只测漫射光。这样测出的值与观测者看上去的物体颜色是相当的。当使用SCI模式时，测量过程中镜面反射光与漫射光会被一起包含进去。这样测得的值是物体整体客观颜色，而与物体表面条件无关。当我们选择仪器时，这些标准必须全面考虑到。有些仪器也可同时测量SCE和SCI模式下的值。

SCE方式非常适用于检验生产线上的样品是否符合视觉颜色标准。

这种方式利用了光井，测不到镜面反射光。

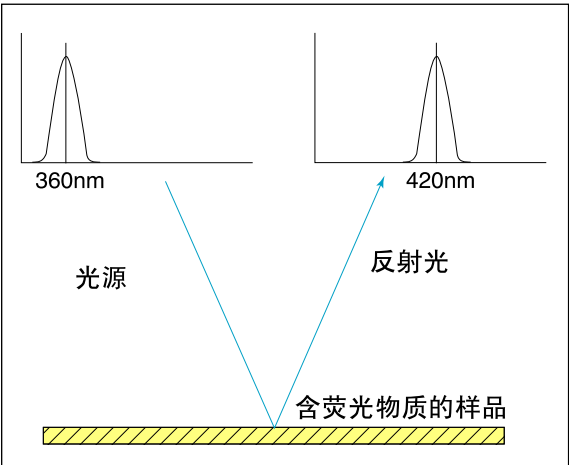
SCI方式非常适用于如利用计算机配色系统(CCM)调整色母粒到生产需要水平。

这种方式不用光井，包括了镜面反射光。

特殊色彩的测量

荧光色

当你看到荧光色时，虽然色彩不是真正的光源，但会显得它本身在发光一样。当光线射向荧光物质时，光线会被物质所吸收，再以光谱范围内另一波长的可见光形式释放，通常比原来波长更大。如31页中提到的，可见光波长范围是从380nm到780nm。举例来说，荧光物质吸收360nm波长的光线再以420nm波长的光线释放，这样，测量值中420nm这点波长的反射率或许会超过100%。由于更多数量的光线变为可见光，因此人眼感觉就像物体本身在发光。测量不含荧光的物质的样品时，滤镜位置可以在光源和样品之间(前分光)或样品和接收器之间(后分光)。但在测量含有荧光物质的样品时，为了符合人眼感观视觉，滤镜必须在样品和接收器之间，只有这样，才能使整个光源光谱照射在样品上。因此在用分光测色计测含荧光物质的样品时，必须保证光源的光谱能量分布包含有紫外光范围。



金属色

为了达到色彩绚丽的效果，许多涂料特别是汽车用方面涂料都使用了染色剂与金属粒薄片相混合的方法。在金属漆中，由于金属薄片的作用，光线会向各个方向反射，虽然它们一般来说都是同方向线性排列的。图25中表明了金属漆中镜面反射光与漫射光是如何相互作用的。由于有金属薄片引起的不同方向的镜面反射光的作用，使人眼看到的物体颜色也有所不同。在一个接近金属片作用下的镜面反射光的角度观察时，我们会看到高亮度的颜色。在一个金属薄片未影响的角度下，我们则看到了较暗的颜色。总之，用分光测色计测量金属色时，在多角度下测量取值是很有必要和有效的。

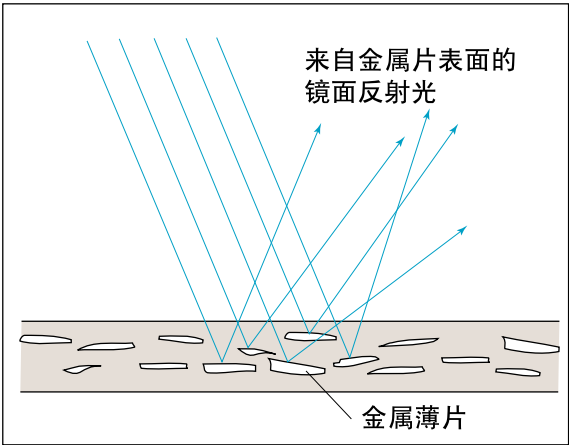
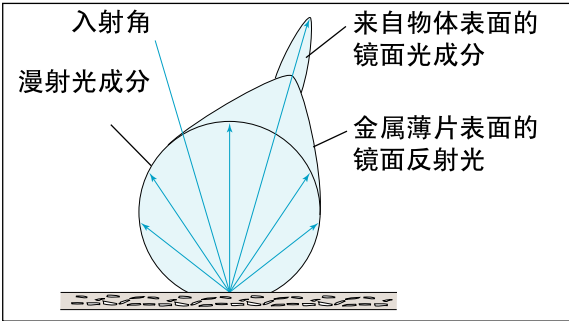


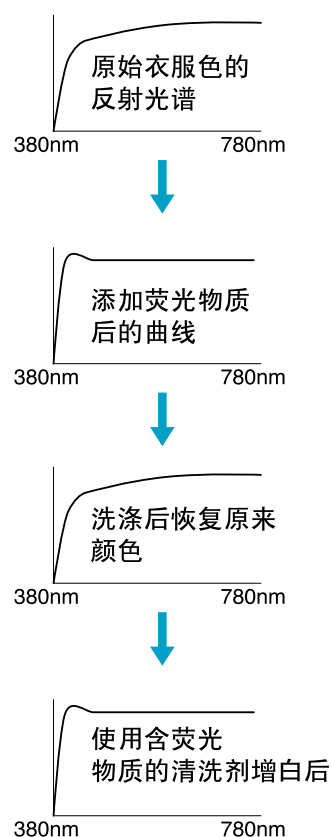
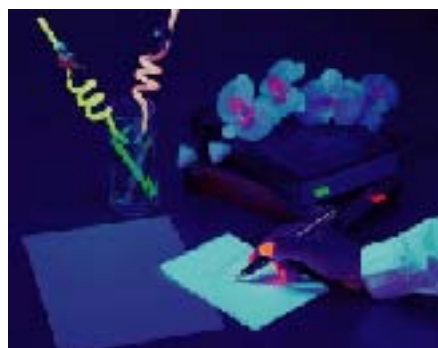
Figure 25



黑光和荧光物质

你曾见过这样的房间吗，在房间中存在这样的现象：在暗黑或紫色灯照耀下的房间内，白色衬衫、袜子或墙上的装饰图案会显得特别亮，就像在发光一样。

类似这样的地方是由一种称为黑光的光源提供照明的。黑光是一种远离可见光光谱范围波长的光源，用来照明含荧光物矿石等。事实上，黑光释放的能量在紫外光范围内。物体中被添加的荧光物质吸收黑光的能量并以可见光形式重新释放。在黑光的照射下，物质就会显得在发光一样。当一个物体将可见光范围内所有波长光线以近100%的反射率反射出来，它显现出来的就是白色。但是，如果物体对蓝色波长段反射少一些的话，物体就会显得偏黄。在许多情况下会使用荧光物质(有时是光学增亮结构)。这些荧光物质增强了蓝色波长段的反射率从而使物体显得白一些。所以，白色衬衫在日光下显得很白而在黑光下看上去像在发光。在白色衬衫重复洗涤后就会变得偏黄，这并不是因为衣服上粘附了黄色而是因为荧光物质被逐渐洗去，衣服的颜色重又显露出来了。通常的做法是使用含有荧光物质的清洗剂洗涤衣服而使衣服重新亮白。



特殊被测物体及测量条件

被测物体为粉末

当用分光测色计测量粉末状物体时，测量值会根据粉末密度及表面条件而变化。为了避免产生较大偏差，可以采用一些特殊方法，例如，可以取一定量的粉末，装入形状尺寸一定的容器内并保持表面特性不变。

如果被测物体尺寸较大，可使用测量口径大的分光测色计，这样，被测表面可以更为平均且数据的重复性有所保障。

被测物体为半透明物质

测量半透明物体时必须考虑到，光线可能会穿透被测物体而且测量可能受到被测物体后面物质的影响。为了解决这个难题，可以在测量前加厚被测物以免使光线完全穿透。另一种方法是在被测物后面放一块不透明的白色平板。

被测物体含有花纹

如果使用小口径分光测色计去测量那些含有花纹或纹理的物体时，测量值会随测量位置不同而变化。这时就应该使用尽可能大的口径或者在不同位置重复测量多次，再计算平均值。

温度条件的影响

有时当同一个物体温度发生变化，其颜色也会有变化。这种现象称为热变色性。为了能更精确地使用分光测色计测量颜色，测量必须在一个温度固定的房间内进行并且要等到被测物体达到室温以后。

当室温改变10℃，BCRA标准色板的温度特性(ΔE^*_{ab})(根据柯尼卡美能达测试条件)

颜色	ΔE^*_{ab}
白	0.01
浅灰	0.02
中灰	0.05
暗灰	0.05
深灰	0.05
深粉红	0.60
橙	1.52
红	1.32
黄	0.92
绿	0.92
暗绿	0.91
青	0.46
深蓝	0.17
黑	0.02

新色差公式（CIE2000）

色差计可以帮助我们量化颜色并通过数据来进行精确的色差分析和交流。然而，在实际色彩控制应用过程中，有时我们会发现通过仪器得到的色差与实际视觉感官不太相符，为什么会这样呢？有什么方法能解决这个问题吗？答案是有的，这就是新的色差公式“CIE2000”，我们将在这一章节中对它进行详细说明。

CIE Lab (L*a*b*色空间) 的问题

CIE Lab (L*a*b*色空间) 通过使用一个均匀的色空间来表示颜色，在该色空间中，亮度L*及色度a*和b*均被认为是均匀变化的。虽然色差的计算公式是基于人眼对色彩的视觉感官来定义的，但是对于一些色彩的评估，人眼的敏感度和 ΔE^*_{ab} 之间还是有些差异的，这是因为人眼对色差的辨别能力及范围与CIE Lab定义的 ΔE^*_{ab} 和 Δa^*b^* 是有着很大的差异的。

人眼对色彩的辨别能力

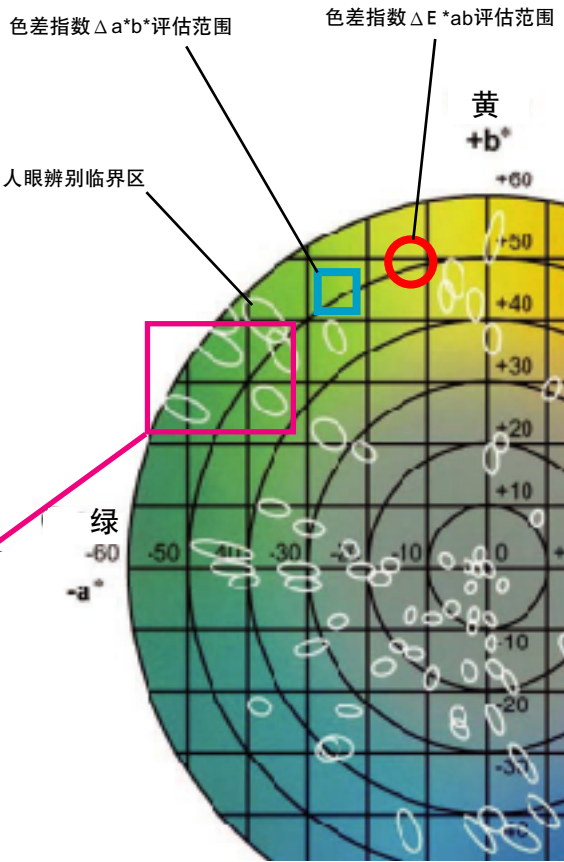
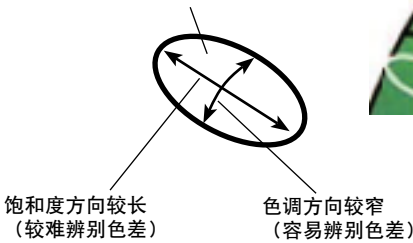
人类对于大自然中不同的色彩，辨别能力是不一样的，有些颜色即使是不一样的，我们也很难察觉，在色度图中这些给我们视觉感官一致但实际却不一样的颜色所在的区域，我们称为人眼辨别临界区。

右图为CIE Lab色空间图的部分，白色的椭圆代表了人眼对饱和度及色调这两个色彩参数的辨别临界区，换句话说，人眼无法辨别出同一椭圆内的颜色色差。

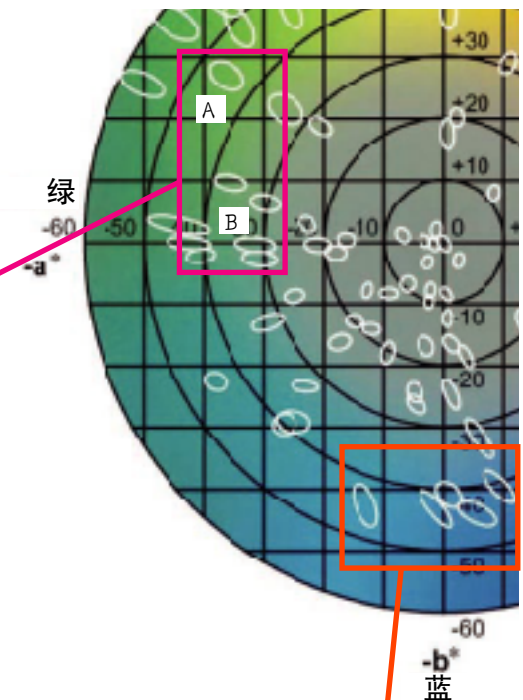
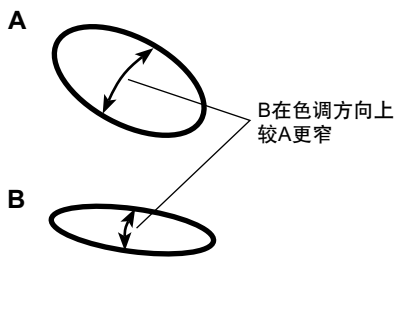
我们仔细的分析下这些白色的椭圆，不难看出人眼对CIE Lab色度图 (L*a*b*色空间) 色差辨别能力有如下四个特征：

- 1) 人眼对饱和度高的色彩的敏感度较弱，因而，对这类色彩的色差辨别能力较差。
低饱和度时的色彩，其白色椭圆变得接近于圆形，随着饱和度的增加，圆形在饱和度方向上渐渐拉长，在色调方向上渐渐变窄。这就表示虽然颜色的色差相对已经较大了，但人眼对色饱和度较高的色彩的分辨能力却在减弱。

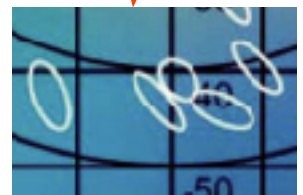
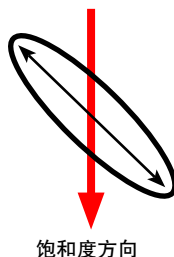
人眼不能辨别此椭圆范围内的颜色色差



- 2) 色调不同，人眼对色调方向上的色差敏感度也不一样。我们看一下图中的椭圆A和椭圆B，A在色调为120度的位置（黄绿色）而B在色调为180度的位置（绿色），虽然两个位置的饱和度近似，但A椭圆在色调方向上更宽，而B相对较窄。这就表示与A点位置相比，人眼对B点的色调敏感度更高一些。

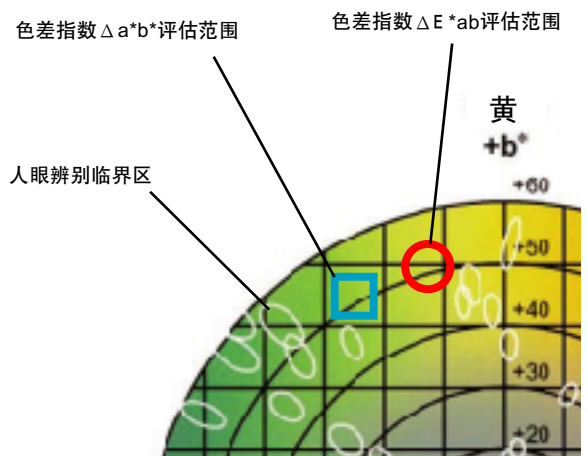


- 3) 在亮度方向上的色差敏感度也会随着亮度的不同而发生变化。遗憾的是，由于亮度轴是正交于所示平面图，因此我们无法从图中看到在亮度方向上色差敏感度的变化趋势。但是，科学得出这样的结论：在亮度为50左右的地方，人眼的色差敏感度达到最高，不论是沿着更高或者更低的亮度变化，敏感度都是逐步递减的。



白色椭圆代表的人眼辨别临界区的主轴并不在饱和度方向上。

- 4) 在蓝色区域内，人眼的分辨能力在方向上会有所改变。从图中我们可以看到，蓝色区域的白色椭圆的主轴不象其他颜色一样是从中心沿饱和度方向扩展。这就引起了使用色差计测量与人眼视觉评估之间存在的差异。从右图中可以看到，用○表示的在CIE Lab ($L^*a^*b^*$ 色空间) 中评估色差的常用参数 ΔE^*ab ，在各个饱和度及色调角条件下定义色差的方法都是一个完整的圆圈。另外一个色差常用参数，在图中用□表示的 Δa^*b^* ，其在色度图中定义色差的方法都是矩形，不论哪种定义方法、哪种形状，都是与人眼的色差辨别临界区（白色椭圆）有区别的。因此，在我们评估同样的两种颜色的色差时，人眼与色差计计算结果有矛盾和差异的主要原因就在于判断方法和定义形状上的差异。



“CIE 2000” 色差公式的特点

由于人眼与色差计在色度图中不同位置的色彩评估方法和形状上的差异，引起了许多色彩评定时测量数据与目测结论不匹配的问题，CIE 2000色差计算公式的提出，就是为了解决这个问题和难题。

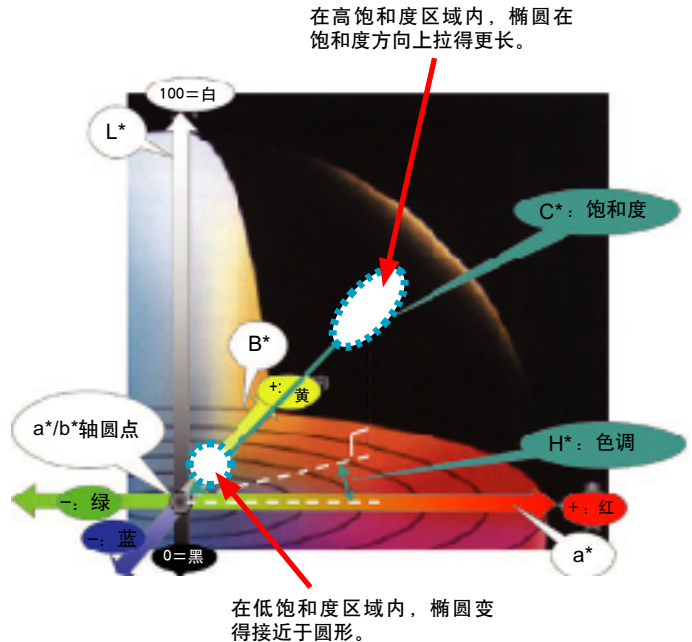
CIE 2000色差公式并不是创建了一个新的人眼辨别临界区均匀的色空间，而是重新定义了色差计算方法，使得在整个CIE Lab ($L^*a^*b^*$ 色空间) 中，色差计算值与人眼评估更为接近。新的色差公式在原色差计算公式基础上，另外特别引用了三个新的重量系数 S_L 、 S_C 和 S_H ，分别代表了在亮度 ΔL^* 、饱和度 ΔC^* 和色调 ΔH^* 方向上的差异程度。显然，这三个重量系数与亮度 L^* 、饱和度 C^* 及色调角 h 有关系。因此，新计算公式综合了在CIE Lab ($L^*a^*b^*$ 色空间) 中人眼的辨别临界区的特征，并为与人眼评估密切相关的三个参数：1) 饱和度、2) 色调及3) 亮度独立设置了修正系数。

*关于新色差计算公式的详细介绍，请参阅“附录”

前面已经提到了，在CIE Lab ($L^*a^*b^*$ 色空间) 中评估色差的常用参数 ΔE^*_{ab} 和 Δa^*b^* 分别定义为圆圈和矩形。CIE 2000的色差参数 ΔE^*_{00} 却是一个主轴在饱和度方向上的与人眼辨别临界区相接近的椭圆。在低饱和度的区域，重量系数 S_L 、 S_C 和 S_H 都接近与1，使得整个椭圆更象个圆形。在高饱和度的区域，重量系数 S_C 将比其他两个系数 S_L 和 S_H 变得更大，因此在饱和度方向上椭圆被拉得更狭长（饱和度的敏感度更低）。

在CIE 2000色差公式中，色调角的影响也被考虑在内。因此，新色差公式与前面提到的人眼对CIE Lab 色度图 ($L^*a^*b^*$ 色空间) 色差辨别能力的第四个特征相匹配：在色调角为270度（蓝色）的区域内，人眼的分辨能力在方向上会有所改变（饱和度方向上偏转）。

新色差公式也包含了三个常量参数 K_L 、 K_C 和 K_H ，用户可以根据不同的测量对象或者色彩品质控制要求来自定义它们的数值，以获得更灵活的色差计算方式。

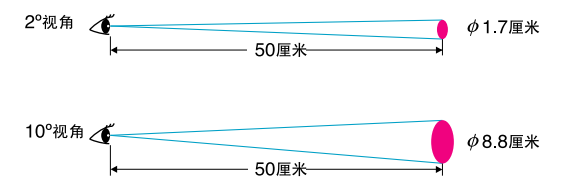


附录

曾在本书中讨论过的术语，标准和色空间的详细说明。

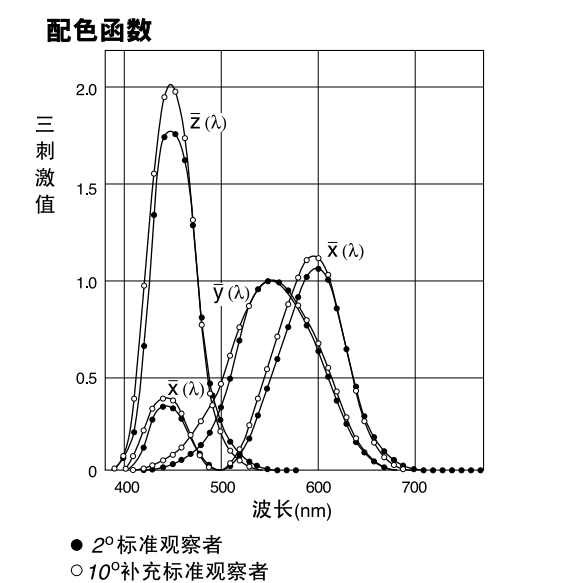
2°标准观察者和10°补充标准观察者

眼睛的色灵敏度随着视角(物体大小)而变化。CIE在1931年原来规定的标准观察者是用2°视场，因此定名为2°标准观察者。1964年，CIE规定了一个附加的标准观察者，这一次是根据10°的视场，因此被称作10°补充标准观察者。2°视场和10°视场相比较，究意是个什么概念，可以下例说明。在视距为50cm时，2°的视场为—ø1.7厘米的圆；而在同样视距10°的视场则为—ø8.8厘米的圆。在本书中大部分资料是根据2°标准观察者。2°标准观察者将用于1°到4°视角，而10°补充标准观察者将用于4°以上的视角。



配色函数

配色函数为等能光谱的三刺激值，为波长的函数。这些函数与人眼的灵敏度相一致，两组配色函数分别用于2°标准观察者和10°补充标准观察者。



XYZ 三刺激值 (CIE 1931)

这是根据CIE于1931年规定的配色函数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 所确定的三刺激值；也称之为2°XYZ三刺激值。该三刺激值适用于4°或4°以下的视角，并按照下列公式为反射物体规定为：

$$X=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$Y=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$Z=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

其中
 $S(\lambda)$: 光源的相对光谱能量分布
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: CIE 2°标准观察者配色函数(1931)
 $R(\lambda)$: 试样的光谱反射比

X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ 三刺激值 (CIE 1964)

这是根据CIE于1964年规定的配色函数 $\bar{x}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{y}_{10}(\lambda)$ 和 $\bar{z}_{10}(\lambda)$ 所确定的三刺激值；也称之为10°XYZ三刺激值。该三刺激值适用于4°以上的视角，并按照下列公式为反射物体规定为：

$$X_{10}=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$Y_{10}=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$Z_{10}=K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda}$$

其中
 $S(\lambda)$: 光源的相对光谱能量分布
 $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$: CIE 10°补充标准观察者配色函数(1964)
 $R(\lambda)$: 试样的光谱反射比

xyz色度坐标

xyz色度坐标是由XYZ三刺激值按照下列公式计算得来：

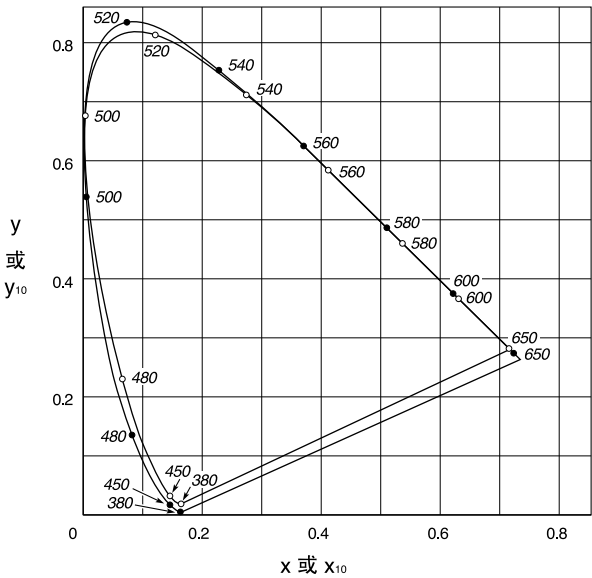
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y$$

如果上述公式是用X₁₀ Y₁₀ Z₁₀三刺激值来使用的，则色度坐标将为x₁₀ y₁₀ z₁₀

xy 和 x₁₀y₁₀ 色度图

xy 和 x₁₀ y₁₀色度坐标可以描绘在二维图上。

xy 和 x₁₀ y₁₀色度图



● 对2°标准观察者(CIE 1931)
○ 对10°补充标准观察者(CIE 1964)

L*a*b*色空间

L*a*b*色空间(也称为CIELAB色空间)是CIE在1976年规定的均匀色空间之一。L*,a*和b*值可按下列公式计算：

亮度变量L*：

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

色度坐标 a*和 b*

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$
$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

其中：
X,Y,Z：试样的三刺激值XYZ(对2°标准观察者)
或X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ (对10°补充标准观察者)
X_n,Y_n,Z_n：全反射漫射体的三刺激值XYZ(对2°标准观察者)或X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ (对10°补充标准观察者)

如果X/X_n, Y/Y_n或Z/Z_n小于0.008856，上列公式应按下述作变更：

$\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3}$ 应换作 $7.787 \left(\frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116}$

$\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3}$ 应换作 $7.787 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116}$

$\left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3}$ 应换作 $7.787 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116}$

在L*a*b*色空间中，色差ΔE*_{ab}说明色差的程度但不是方向，它由下列方程式确定：

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

其中：
ΔL*,Δa*,Δb*；试样颜色和目标色之间ΔL*,Δa*和Δb*值之差。

L*a*b*色空间

L*a*b*色空间使用与L*a*b*色空间一样的色度图，但是它使用柱面坐标，亮度L*与L*a*b*色空间中的L*相同；米制色饱和度C*和米制色调角h由下列公式确定：

$$\text{米制色饱和度} : C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{米制色调角} : h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) [\text{度}]$$

其中：

L*a*b*：在L*a*b*色空间中的色度坐标

对于差值的测量。米制色调角差是不计算的；而米制色调差 ΔH^* 则按下列公式计算：

$$\begin{aligned} \Delta H^* &= \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \\ &= \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \end{aligned}$$

如果试样的米制色调角h大于目标色的话，则米制色调差为正；如果试样的米制色调角小于目标色的话，则为负。

CIE 2000色差公式

如53页所述，这是目前最新的色差公式，用于解决仪器测量色差数据与目视评估不符的问题，这也是L*a*b*色空间的一个弱点。新计算公式基于亮度差 ΔL^* ，饱和度差 ΔC^* 及色调差 ΔH^* ，并结合使用了重量系数（ S_L ， S_C 和 S_H ）及常量参数（ K_L ， K_C 和 K_H ），公式如下所示：

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L \cdot S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C \cdot S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H \cdot S_H} \right)^2 + \left(R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C \cdot S_C} \right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H \cdot S_H} \right) \right)}$$

其中：

$$L' = L^* \quad b' = b^* \quad a' = a^* (1 + G)$$

$$C^* = \sqrt{(a')^2 + (b')^2} \quad h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$G = 0.5 \sqrt{1 - \left(\frac{C^*_{ab}{}^7}{C^*_{ab}{}^7 + 25^7} \right)} \quad S_L = 1 + \frac{0.015 (\bar{L}^* - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}^* - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045 \bar{C}^* \quad S_H = 1 + 0.015 \bar{C}^* T$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h} - 30) + 0.24 \cos(2\bar{h}) + 0.32 \cos(3\bar{h} + 6) - 0.20 \cos(4\bar{h} - 63)$$

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) R_C \quad \Delta\theta = 30 \exp \left(- \left(\frac{\bar{h} - 275}{25} \right)^2 \right)$$

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}^*{}^7}{\bar{C}^*{}^7 + 25^7}}$$

亨特尔Lab色空间

亨特尔Lab色空间是由R.S.亨特尔由1948年研究出来的，作为一种均匀的色空间，它可以从光电色彩色差计(三刺激法)上直接读出。这种色空间的各值由下列公式确定。

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}}$$

$$a = 175 \sqrt{\frac{0.0102 X_0}{(Y/Y_0)}} \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0} \right) - \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right]$$

$$b = 70 \sqrt{\frac{0.00847 Z_0}{Y/Y_0}} \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right) - \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right]$$

其中

X, Y, Z：试样的三刺激值(也可以用 X_{10} , Y_{10} , Z_{10} 三刺激值)

X_0 , Y_0 , Z_0 ：全反射漫射体的三刺激值

对于2°标准观察者和标准光源C，上述方程式将改为：

$$L = 10 \sqrt{Y}$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}}$$

$$b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{\sqrt{Y}}$$

在亨特尔Lab色空间中，色差 ΔE_H 说明色差的程度但不是方向，它由下列方程式确定：

$$\Delta E_H = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

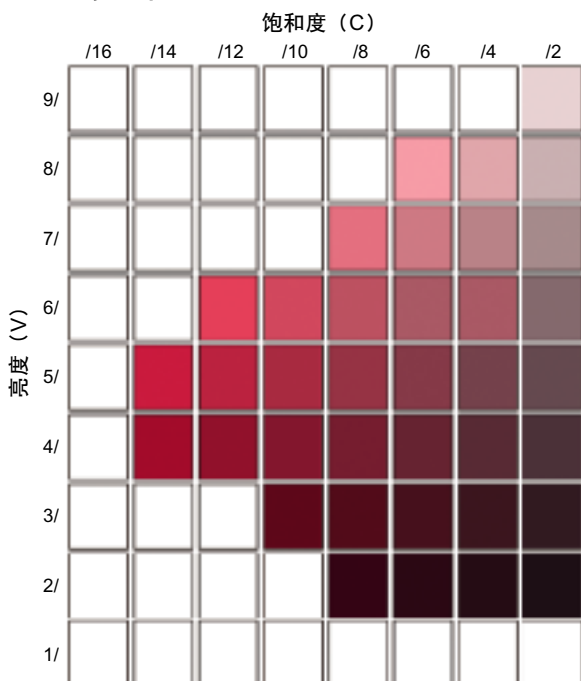
其中

$\Delta L, \Delta a, \Delta b$ ：试样色和目标色之间L, a和b各值之差

孟塞尔表色系统

孟塞尔表色系统由一系列借以与试样作目视比较的色卡图组成。颜色用下列术语来表示：孟塞尔色调(H；表示色调)，孟塞尔值(V；表示亮度)和孟塞尔饱和度(C；表示饱和度)，并写HV/C。例如，对于有H=5.0R, V=4.0和C=14.0的颜色，则孟塞尔标号写为5.0R 4.0/14.0

孟塞尔色卡



均匀色空间

在坐标图上能以相同距离表示相同知觉色差的色空间。

L*u*v*色空间

L*u*v*色空间(也称为CIELUV色空间)是CIE于1976年规定的几种均匀色空间之一，L*,u*,v*值可按下列公式计算：

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16, \text{ 当 } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \text{ 时}$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_0)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

其中

Y：三刺激值Y(也可以用三刺激值Y₁₀)

u', v'：来自CIE 1976 UCS 图上的色度坐标

Y₀, u'₀, v'₀：全反射漫射体的三刺激值Y(或Y₁₀)和色度坐标 u', v'。

在L*u*v*色空间中，色差 ΔE*_{uv} 说明色差的程度但不是方向，它由下列方程式确定：

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

其中：

ΔL*, Δu*, Δv*：试样色和目标色之间L*, u*, v*值之差。

CIE 1976 USC色度图

CIE 1976 USC图是CIE在1976年规定的，它企图对于亮度大致相同的颜色提供一种在视觉上更为均匀的色空间，u' 和 v' 值可以按下列公式由三刺激值XYZ(或X₁₀ Y₁₀ Z₁₀)或由色度坐标xy算出：

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

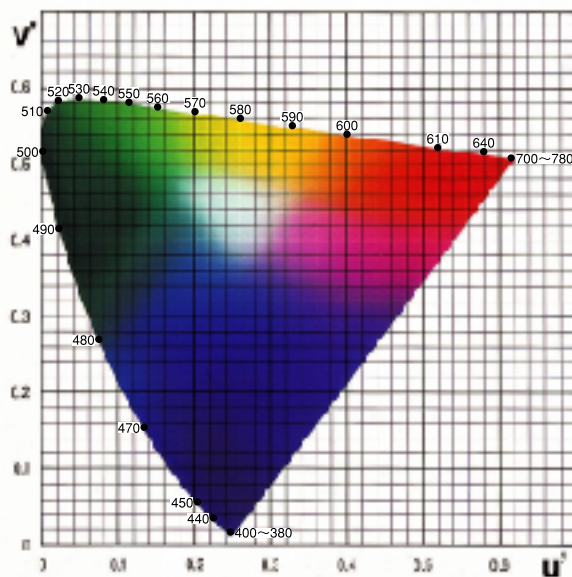
$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

其中

X, Y, Z：三刺激值(如果用了 X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ 三刺激值，则其答数将为 u'₁₀和 v'₁₀)

x, y：色度坐标(如果用了 x₁₀, y₁₀色度坐标，则其答数将为 u'₁₀和 v'₁₀)

CIE 1976 UCS色度图 (对2°标准观察者)



ΔE* 94 色差公式 (CIE 1994)

通过综合考虑CIE1976(L*a*b*)色空间中不同区域的色差感应尺度的修正因素，这个公式修正了L*a*b*色空间中的亮度，饱和度和色调(L*C*H*)，是由CIE技术委员会在1994年提出的。

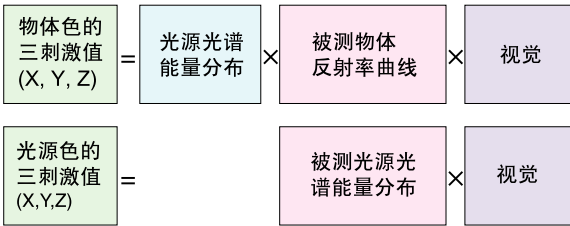
$$\Delta E^*_{94} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

物体色与光源色的区别

之前已经描述了决定物体颜色的三要素是光、物体、视觉。但是类似于电灯泡发光产生的颜色就有所不同了。我们称为光源色。以下就是关于物体色和光源色区别的一些简单说明。

定义上的区别

人们观察物体颜色的基本要素是光源、物体以及视觉。然而观察光源色的时候只涉及两大要素：光源的光谱曲线分布和视觉。这些概念的方程式如下图所示。



对于物体颜色来说，光源的光谱曲线分布是决定性的，因为光源不同，物体显现出的颜色也不同。当测量光源色时，就没必要另需光源了，因为光源本身决定了其颜色。

光源几何光学条件及光线接收器的区别

当测量物体颜色时，几何光学条件及光线接收器的位置必须考虑进去，因为在不同条件下物体颜色不同。47页中，CIE已经定义了六种类型的条件。这些条件并不适用于光源色。但是，根据光源类型的不同及观察角的不同，光源色会有一种角度特性，比如说液晶屏。这种情况下，观察角必须设为一固定值。

物体色定义方程

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$
$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

其中: $S(\lambda)$: 光源相对光谱能量分布
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: XYZ色空间标准配色函数
 $R(\lambda)$: 物体反射率曲线

光源色定义方程

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$
$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

其中: $S(\lambda)$: 光源的相对光谱能量分布
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: XYZ色空间标准配色函数
 K : 标准化颜色参数(三刺激值中的Y值等同于被测光源亮度)
当光源光谱能量 $S(\lambda)$ 为绝对值时, 可使用下列等式计算亮度值
 $K = 683 \text{ lm/w}$

光源色色空间表示

通常有几种方法来数字化描述光源色，包括XY坐标系，CIE1960UCS色度图(u, v)，CIE1976 UCS色度图(u', v')，(色温)*
*右页中会涉及到关于色温的知识。有时也使用L*u*v*色空间(CIELuv)。但当使用这个光源色空间时，必须定义一个基准色，因为这个色空间是基于基准色为原点的意义上建立的。

色温

当一个物体温度升高时，其热辐射能也会增加。与此同时，物体的颜色会经历一个从红到黄再到白的变化过程。物理学中，就把黑体定义为一个理想物体，它吸收所有能量并全部以热辐射的方式释放出来。这样黑体的温度与其辐射的能量的颜色就有了直接的联系。黑体的绝对温度就被用来表示当前的色温值。这些颜色就落在理想的黑体轨迹上，如图26x, y色度图所示。

相关色温是用来把色温的一般概念用于那些接近，但不是正好落在黑体轨迹上的颜色。相关色温的值是由等温线决定的。等温线由一系列直线组成，位于同一等温线上的颜色在视觉上表现为一致。任何一条位于等温线上的某种颜色的相关色温就等于这条等温线与黑体轨迹相支点的色温。

图27中表示出了黑体轨迹线，等温线和与黑体轨迹线相差 Δuv 的等值曲线。如，一个发光源与色温为7000k的黑体在绿色方向上有0.01的色差(ΔEuv)，就可以表示为相关色温为7000k+0.01(uv单位)

注释

ΔEuv 的解释请见第IV部分附录。

“K”是“开尔文”的简写。“开尔文”是绝对温度的单位。

图26 黑体轨迹的xy色度图

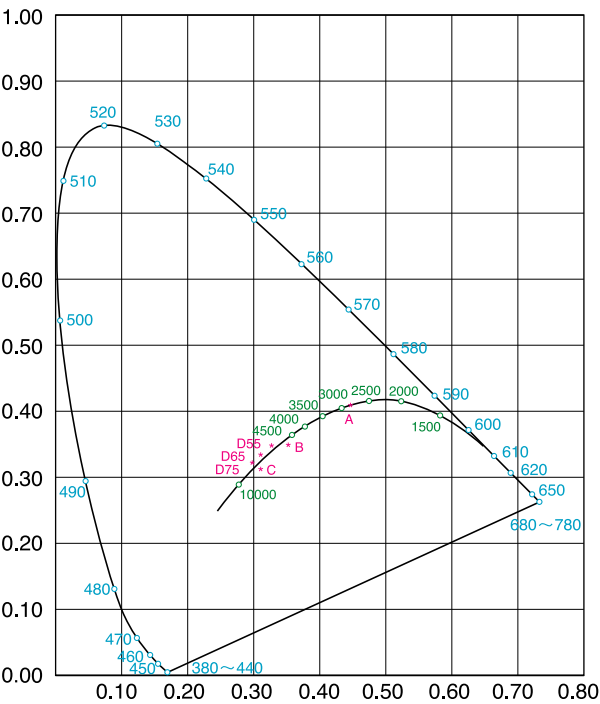
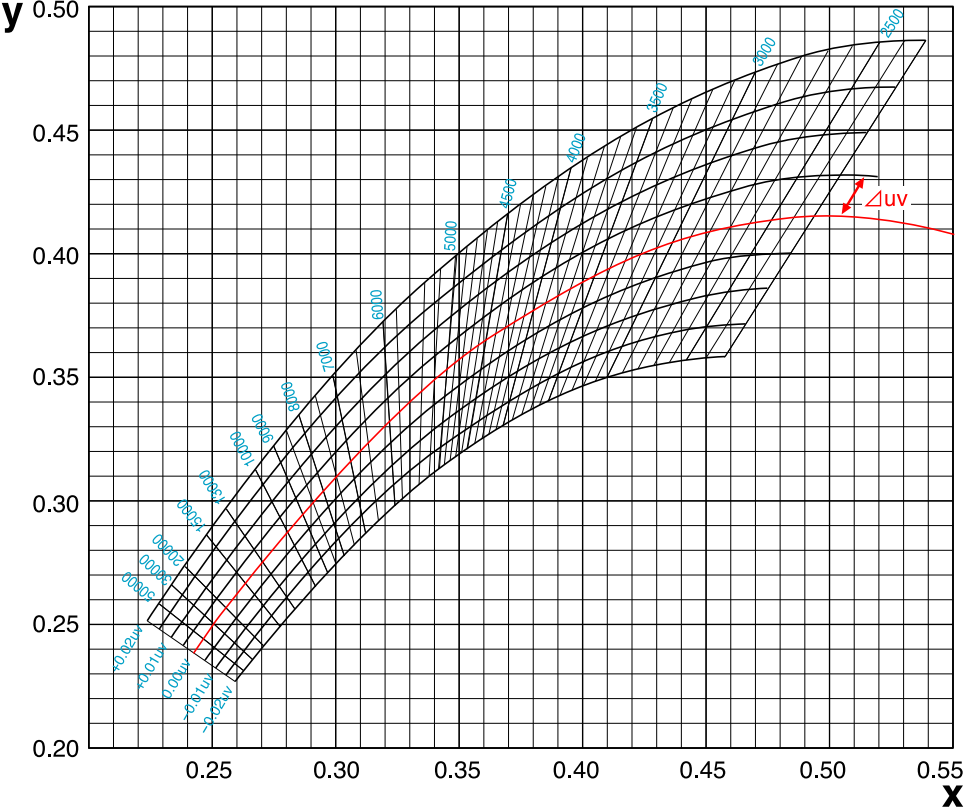


图27 xy色度表标出了黑体轨迹，等温线及等色差 Δuv 线



Memo