

4. 色貌定义

在科学领域，术语定义是知识的重要组成部分。新手通常需要先掌握术语，才能有效沟通。在色貌研究中，这尤为关键。**Hunt (1978)** 担心色彩科学家可能会像《爱丽丝梦游仙境》中的“**Humpty-Dumpty**”那样，随意赋予词语不同含义，而这种不统一会带来问题。因此，本章的色貌术语定义旨在确保概念和模型以一致的方式理解和应用。这也是色貌研究和应用中的一大挑战。

4.1 IMPORTANCE OF DEFINITIONS

在色貌研究领域，达成一致的术语使用标准可能特别困难。原因可能与颜色这一主题的本质有关。几乎每个人都知道颜色是什么，因为从出生后不久就亲身体会到了颜色。然而，极少有人能精确描述他们的颜色体验，甚至很难准确定义颜色。与生俱来的这种对颜色的感知，加上颜色术语的不精确使用（例如“更暖”、“更冷”、“更亮”、“更干净”等），导致了每个人似乎都了解颜色，但实际上很少有人能精确讨论它。因此，若要系统化、数学化地描述色貌，必须对所描述的现象做出精确且一致的定義。

由于色貌建模仍然是一个活跃的研究领域，这些定义并没有几十年固定不变。本章中呈现的定义主要来自三个来源。第一个也是权威来源是**国际照明术语表 (International Lighting Vocabulary)**，由**国际照明委员会 (CIE)** 于1987年发布，并在2011年更新为CIE标准S 017/E:2011。该术语表包含了大约一千个与光和颜色相关的术语和量的定义，旨在促进国际标准化使用。第二个来源是**Hunt (1977, 1978)** 的两篇文章，它们描述了推动国际照明术语表修订的一些工作。此外，还有一个与外观术语相关的**ASTM标准 (1995年)**。

最后需要注意的是，以下给出的定义是感知术语，定义了我们对颜色刺激的感知。这些定义并不是具体色度量的定义。在构建和使用色貌模型时，目标是开发和与这些感知属性相关的物理可测量量。

4.2 Color

定义“颜色”一词本身带来了一些有趣的挑战和困难。虽然大多数人都知道什么是颜色，但要尝试写出一个不包含例子的定义却很难。即使是最杰出的色彩科学家，在撰写1987年版《国际照明术语表》时，也未能避开这一难题。**颜色** 是视觉感知的属性，包含**色度** 和**无色度** 的组合。可以用色度名称（如黄色、橙色、红色、绿色、蓝色等）或无色度名称（如白色、灰色、黑色等）来描述，还可以通过明亮、暗淡、浅、深等词汇来修饰。

定义的作者们深知颜色的感知并非简单的事情，因此他们添加了一条注释，解释了为什么需要色貌模型。

注释：感知到的颜色依赖于多个因素：颜色刺激的光谱分布、刺激区域的大小、形状、结构以及周围环境、观察者视觉系统的适应状态，以及观察者对当前和类似观察环境的经验。这说明了影响色貌的众多物理、生理、心理和认知变量，其中许多都在本书中讨论。

由于颜色的定义对本书至关重要，以下列出了2011年《国际照明术语表》中颜色的定义，供读者进行比较。

颜色（感知）：一种视觉感知的特性，可以通过**色相、亮度（或明度）和色度（或饱和度、彩度）**来描述。

- **注释1：**当需要避免与“颜色”一词的其他含义混淆时，可以使用“感知颜色”一词。
- **注释2：**感知到的颜色依赖于颜色刺激的光谱分布、刺激区域的大小、形状、结构及周围环境、观察者视觉系统的适应状态，以及观察者对当前和类似观察环境的经验。
- **注释3：**参考以前的定义，不在此上下文中重要。
- **注释4：**感知的颜色可能出现在几种色貌模式中。各种外观模式的名称旨在区分颜色感知的定性和几何差异。更重要的模式包括“**物体颜色**”、“**表面颜色**”和“**孔径颜色**”。其他外观模式包括“**膜颜色**”、“**体积颜色**”、“**光源颜色**”和“**Ganzfeld颜色**”。

虽然词汇发生了变化，但颜色的核心定义并没有显著改变。色貌的重要性仍体现在**注释2**中，而**注释4**进一步详细说明了色貌的几种模式，这些内容将在本书后面章节中讨论。

4.3 Hue

色相（Hue）是指我们对颜色的感知，它帮助我们分辨颜色的类型。举个例子，红色、黄色、绿色和蓝色就是常见的色相。不同的色相让我们知道，看到的颜色更接近于哪种颜色，比如红色偏橙，或者蓝色偏绿。

当颜色中没有明确的色相时，就称为**无色彩的颜色（Achromatic Colour）**，例如白色、灰色和黑色。而有色彩的颜色（**Chromatic Colour**）是指那些有明确色相的颜色，如红色、绿色或蓝色。

定义色相很难不使用颜色例子，因为色相本质上是一个环形的概念。想象一下颜色排成一个圈，红色、黄色、绿色、蓝色围成一个完整的圆。这个圆没有“零色相”，所以我们不能用“零单位”来描述没有色相的颜色，最多只能说它是无色的。比如白色就是一种没有色相的颜色。

色相的这种“圆形”性质可以在很多地方看到，比如彩虹中的颜色渐变，或者灯光投射出的光谱。比如，**图4.1**中有四个立方体，三个立方体分别是红色、绿色和蓝色，这些颜色有明显的色相；而第四个立方体是白色，它没有色相，是无色的。

4.4 Brightness and Lightness

亮度 (Brightness) 是指我们看到某个区域时，认为它反射或发出的光量是多少。换句话说，亮度是对光的整体感知。**明度 (Lightness)** 则是亮度的一种相对衡量方式，它表示在同样照明条件下，某个区域相对于看起来白色的区域有多亮。举例来说，如果我们在办公室里看一本书的页面，这个页面可能显得比较亮，而且因为它可能是视野中最亮的物体，所以明度也较高。如果我们把书拿到阳光下，页面会显得更亮，亮度增加了，但它依然是最亮的物体，明度几乎不变。

图4.1展示了四个渲染的立方体，它们分别被两个不同强度的光源照亮。假设你正置身于这些立方体所在的照明环境中，不同面上的光照强度不同，因此它们看起来的亮度也不同。然而，如果你被要求判断这些立方体的明度，你可能会给出相同的答案，因为明度是相对于在相同照明条件下的白色物体的亮度来衡量的。

译者注：Lightness就是相对值，对应CIELAB中的明度L，而L的计算，来自XYZ中的 Y/Y_n ，具体就是： $L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$ 。所以这里可以看出，XYZ中的Y，就是可以看做是Brightness，而相对标准 Y_n 的这个L，就是Lightness

4.5 Colorfulness and Chroma

鲜艳度 (Colorfulness) 和 **彩度 (Chroma)** 是颜色感知中的两个重要维度，分别描述颜色的绝对和相对强度。

- **鲜艳度** 是指颜色的绝对强度，描述了颜色看起来有多鲜艳。在亮度增加时，鲜艳度通常也会增加。例如，阳光下的物体通常看起来更加鲜艳。
- **彩度** 则是颜色的相对强度，表示颜色相对于类似照明下白色物体的强度。彩度是相对的，不受光照的变化影响，但与颜色所处的亮度条件密切相关。

在色彩感知中，**鲜艳度** 和 **彩度** 的关系类似于 **亮度** 和 **明度** 的关系。鲜艳度是绝对值，而彩度是相对值。鲜艳度随着亮度增加而增加，而彩度则相对保持不变。



图 4.1：计算机图形渲染的四个实心块，由两个强度和角度不同的光源照明，用于演示各种色貌属性。

如 **Figure 4.1** 所示，立方体的不同面由于受到不同程度的光照，表现出不同的**鲜艳度**。受到更多光照的面颜色显得更加鲜艳。然而，如果你要评估这些立方体的**彩度**，会发现各个面的彩度基本一致，因为彩度是相对于白色物体的亮度来衡量的。在此例中，尽管光照不同，彩度几乎不受影响。

4.6 Saturation

饱和度 (Saturation) 是指颜色的鲜艳度，相对于该颜色自身的亮度进行判断。它描述了颜色的纯净度或鲜艳程度。

饱和度是一种独立于彩度的感知体验。与**彩度 (Chroma)** 类似，饱和度也可以看作是相对的鲜艳度。但区别在于，饱和度是颜色相对于其**自身亮度**的色彩强度，而彩度则是相对于类似照明下白色物体的亮度。简单来说，饱和度是当我们不与其他颜色作对比时对颜色鲜艳程度的感知。

例如，在黑夜中单独观察的红色交通信号灯就是典型的具有饱和度但无彩度的颜色。这些灯（通常是红色、黄色或绿色）非常鲜艳，可以与车头灯（通常显白色）的色貌进行对比，车头灯的饱和度几乎为零。

饱和度有时被描述为“阴影系列”，意思是一个物体在阴影逐渐加深的过程中，虽然变得更暗，但颜色的饱和度保持不变。这可以通过 **Figure 4.1** 中的示例观察到。假设环境被一个光源照亮，立方体的不同面在不同的光照下保持近似恒定的饱和度。

饱和度似乎是比较彩度更基本的色貌属性，尽管彩度在颜色测量和规范化中更为常用。虽然两者都源自鲜艳度，但它们彼此不可完全替代。饱和度更适合描述颜色的外观，而彩度更适合测量和定义色差。

译者注：Chroma在CIELAB中正式定义，而LAB的计算都是使用的相对值；Saturation在CIELUV进行了正式的定义，LUV的计算是残差的方式而不是LAB中相对白点的方式

4.7 Unrelated and related colors

独立颜色 (Unrelated Color) 是指在不与其他颜色发生任何交互的情况下单独看到的颜色。比如，在黑暗中看一个孤立的红色光源时，这个红色就是独立颜色。

相关颜色 (Related Color) 是指在与其它颜色发生交互时看到的颜色。也就是说，相关颜色总是与周围的颜色或物体相比较而感知的。比如，白天看一件红色的衣服，这个红色就是相关颜色，因为它会受到周围环境和光照的影响。

理解独立颜色和相关颜色的区别对于色貌模型非常重要。通常情况下，色貌应用主要关注的是**相关颜色**的感知，它是本书的核心。然而，许多视觉实验是通过观察**独立颜色**来进行的，这为理解颜色视觉的基础提供了帮助。

一个有趣的例子是**灰色**和**棕色**这两种颜色。无论如何在黑暗中单独观察一个光源，你都无法看到看起来是灰色或棕色的独立颜色。灰色是一种亮度低于白色的无彩色，棕色则是亮度低的橙色。这些颜色的感知需要参考特定的亮度水平和其他颜色，所以只能作为相关颜色存在。

另一个例子是，如果你在夜晚观察一个孤立的交通信号灯，它的颜色是独立的，而不需要参照其他物体。但如果你在白天观察一个物体，它的颜色则是相关颜色，因为你在环境和光照影响下感知它的颜色。

因此，在研究或应用色貌模型时，我们不能用专门为独立颜色定义的模型来预测只有在相关颜色中出现的现象，反之亦然。

译者注：1. 手机长焦拍摄自发光物体，是否属于独立颜色？留给读者思考 2. 颜色匹配实验，使用的基本是独立颜色的基光源——目的是这种条件容易控制，易于复现。所以，即便我们感知到的大部分是相关颜色，但是独立色在建立色度学体系是很重要的。 3. 独立色，更多和上面描述的saturation一致

4.8 Definitions in equations

在色貌模型的研究中，很多概念可能会让人困惑。因此，有时可以通过一些简单的**方程**来帮助我们理解这些概念之间的关系。虽然这些方程并非严格的数学公式，但它们提供了对颜色感知现象的一阶描述，有助于我们理解色貌模型的构建。

- **彩度 (Chroma)** 可以理解为相对于一个同样照明下的白色物体的**鲜艳度**。这一关系可以通过方程 4.1 来描述:

$$\text{Chroma} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness white}} \quad (4.1)$$

- **饱和度 (Saturation)** 描述的是颜色相对于其**自身亮度**的鲜艳度，表示了色彩的强烈程度，见方程 4.2:

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness}} \quad (4.2)$$

- **明度 (Lightness)** 则是一个物体的亮度与同样照明下白色物体亮度的比值，如方程 4.3 所示:

$$\text{Lightness} = \frac{\text{Brightness}}{\text{Brightness white}} \quad (4.3)$$

这些方程能够帮助我们理解色彩感知中的基本关系，并为各种色貌模型的构建奠定了基础。

进一步推导：我们还可以推导出 **饱和度的另一种定义**，即彩度与明度的比值，如方程 4.4:

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Chroma}}{\text{Lightness}} \quad (4.4)$$

译者注：这正是CIELUV中的定义

为了验证这一关系，可以将方程 4.1 和 方程 4.3 代入方程 4.4，我们得到方程 4.5:

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness white}} \times \frac{\text{Brightness white}}{\text{Brightness}} \quad (4.5)$$

通过对白色物体亮度的相消，我们最终得到和 方程 4.2 相同的结果:

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Colorfulness}}{\text{Brightness}} \quad (4.6)$$

4.9 亮度-鲜艳度与明度-彩度的对比

虽然颜色通常被认为是三维的（通过三个数值即可完全定义颜色匹配），但实际上，完整地描述色貌需要五个感知维度：

- 亮度 (Brightness)
- 明度 (Lightness)
- 鲜艳度 (Colorfulness)
- 饱和度 (Saturation)
- 色相 (Hue)

彩度 (Chroma) 是多余的属性，因为只要知道上述五个属性，彩度也就随之确定。然而，在许多实际应用中，不需要同时知道所有五个属性。通常只需要相对的外观属性，特别是明度、彩度和色相。

Nayatani 等人 (1990a) 通过理论和实验表明，在大多数观测条件下，亮度-鲜艳度的匹配和明度-彩度的匹配是不同的。

实例对比

1. 户外的黄色校车

2. 在阳光下的黄色校车具有以下典型的色貌属性：

- 色相：黄色
- 亮度：高
- 明度：高
- 鲜艳度：高
- 彩度：高

3. 室内照片

4. 在办公室或家中光线较暗的环境下观看校车的打印照片时：

- 色相（黄色）、明度（高）、彩度（高）可能与原始物体匹配。
- 但照片的亮度和鲜艳度永远无法达到在阳光下观看原始校车的水平，因为打印照片的反射能量相对于原始物体要低得多。

5. 相同光照下的照片

6. 如果将打印照片带到与校车相同的阳光条件下，照片的五个色貌属性（包括亮度和鲜艳度）可能会匹配原始物体。

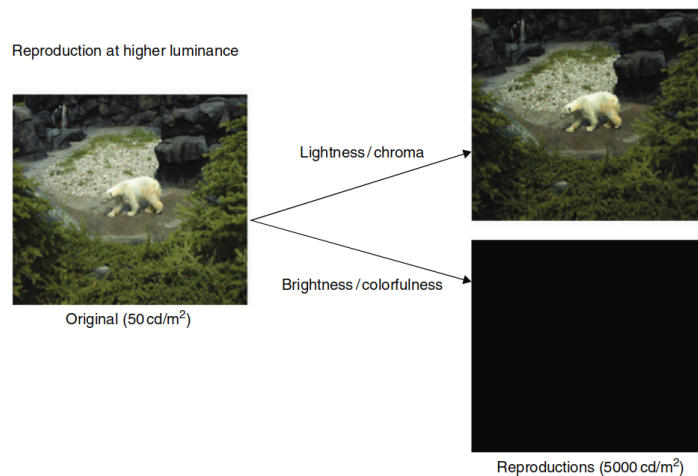


图 4.2：当原始图像的亮度低于再现图像时，亮度-鲜艳度再现会导致图像非常暗，以补偿光照的提高。而明度-彩度再现则体现了更完整的视觉适应，因为它们是基于相对属性的。

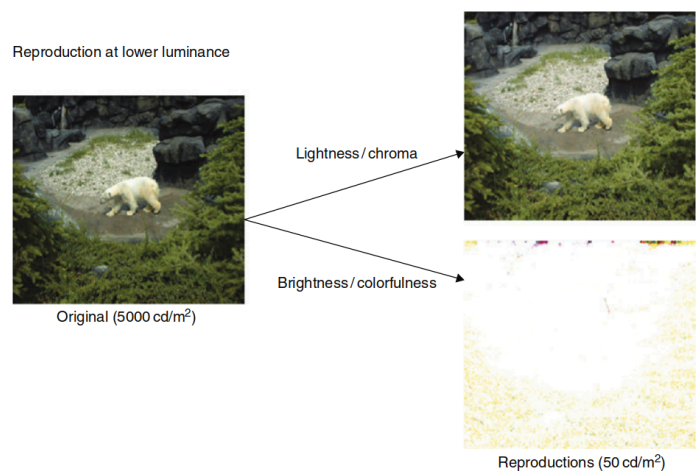


图 4.3：当原始图像的亮度高于再现图像时，亮度-鲜艳度再现会导致图像非常亮，以补偿光照的降低。而明度-彩度再现同样体现了更完整的视觉适应。

特殊应用场景中的例外

在某些特定应用中，亮度和鲜艳度可能比明度和彩度更重要，例如：

- 光源显色性分析
- 在光源的颜色呈现性能评估中，关注的是物体在特定光源下的亮度和鲜艳度，而非仅明度和彩度。
- 图像质量判断

- 在对投影仪图像质量进行比较时，观察者可能更关注图像的亮度和鲜艳度，而非明度和彩度。例如，当投影仪亮度降低时，尽管图像的明度和彩度可能几乎保持不变，但视觉上图像质量会下降。
-

总结

亮度-鲜艳度和明度-彩度的匹配各有适用场景。对于大多数颜色再现应用，明度-彩度的匹配更为重要和实际。然而，在特定场景（如光源显色性分析或图像质量判断）中，亮度-鲜艳度的匹配可能更有意义。