

色彩感知特性实验设计

学号：220426 学生姓名：张瑞升

摘要：人眼对色彩的感知按照光谱波长的分类进行，并具有离散性、非渐进式的感知特性。此外，牛顿光谱中的色彩顺序根据色光传播速度排列，不同波长、不同传播速度的色光抵达人眼视网膜的顺序不同，进而造成人眼视觉感知的远近差异。本文主要采用**心理物理学的平均误差法**测量人眼对**不同波长色光的最小可觉差**，通过最小可觉差表征人眼对不同色相的感知差别阈限以探究人眼色彩感知的离散性与非渐进式的感知特性。此外，本文认为色彩对人眼视觉远近感知的影响也是有意思的探究命题，故结尾处给出关于该问题的实验方案思路。

一、实验背景

视觉是人类最重要的感知通道之一，而色彩感知是人类视觉感知的重要组成部分。色彩的本质是光或者电磁波，不同波长的光或电磁波刺激眼睛视网膜的三种视锥感光细胞而产生人的色彩感知。

物理学家和色彩学家已经对人的色彩感知已开展了几个世纪的探索。1666年，英国物理学家牛顿将太阳光经过三棱镜折射后投影至白色屏幕上，屏幕显示出彩虹一般美丽的色光光谱，该光谱被命名为牛顿光谱。牛顿光谱的发明建立了色彩在色相关系上的二维表示方法，此后，色彩学家加入明度和纯度的色彩感知维度，建立色彩的三维空间表示。

电磁波的存在证明了色光本质是一种电磁波。自然界中电磁波的波长变化范围极大，其中只有 380nm-780nm 波长的电磁波能够刺激眼睛的感光细胞而让人产生色彩感知，该波段的光被称为可见光。牛顿光谱本质是一种可见光光谱，其色相依据色光传播速度排列，不同波长、不同传播速度的色光抵达人眼视网膜的顺序不同，进而造成人眼视觉感知的远近差异。这从物理学角度解释了色相分层的原因。

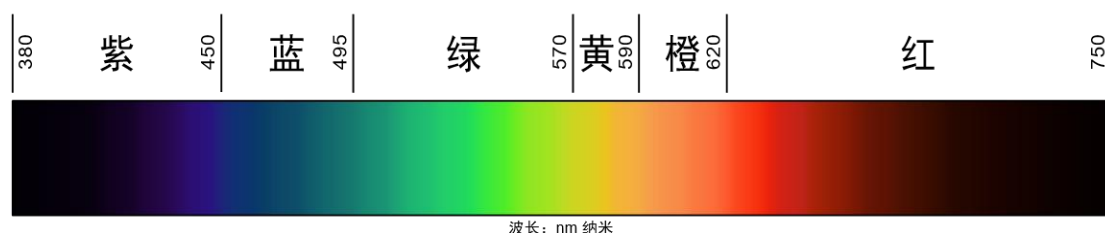


图 1 牛顿可见光光谱图

基于色彩存在与排列顺序的物理学解释, 色彩学家通过光谱图进一步认识到人眼对光色的感知具有非均匀性、非渐进式变化的特点。例如人眼难以区分靛色与紫色, 但却能较容易的观察到红色、绿色和蓝色。基于上述特性, 色彩学家们得出了一个以光的物理性为基准的色彩感知模式, 该模式表明人眼对色彩的感知是按照光谱波长的分类(色相)进行, 并且具有离散性、非均匀性、非渐进式的感知特性。

那么我们该如何探究人对于不同波长的色彩或者说色相的感知是离散的、非均匀的、非渐进的特点呢? 通过测量人对不同色相感知的最小可觉差、以此量化不同波长下人的色彩感知能力, 或许是解决思路之一。最小可觉差代表人类或者动物, 对于某一特定的感官刺激所能察觉的最小改变。人对色相的感知是离散的, 说明当色相或波长差异缩小到一定程度, 人将无法感觉到色相差异的存在, 即人对不同波长的色彩存在最小可觉差。人对色相的感知是非均匀的、非渐进的, 说明人对不同波长下色相的最小可觉差是各不相同的、非递进的。综上分析, 测量人对不同波长下的色相感知最小可觉差是探究人的离散性、非均匀性、非渐进性的色相感知特性的可行性思路。

那么我们又该如何测量人对色相感知的最小可觉差呢? 1860 年费希纳最早提出心理物理学的概念, 并创建专门研究心理量与物理量间的数量关系及量化人类心理活动的实验方法——心理物理法。在心理物理学中, 费希纳设计了三种测量感觉阈限的方法——最小变化法、恒定刺激法和平均误差法, 后被统称为传统心理物理学法。本文选择平均误差法测量人在不同波长下的色相感知差别阈限, 该方法特点在于被试可以主动地并且连续地调整刺激量的大小, 容易引起被试的兴趣, 可有效调动被试的积极性, 非常适用于色相这类连续变化刺激下的差别阈限测量。综上所述, 本文选择心理物理学中的平均误差法测量人对不同波长下的色相感知最小可觉差, 以探究人的离散性、非均匀性、非渐进式的色相感知特性。

二、基于波长的离散性非渐进式色相感知特性探究实验

1. 实验目的

测量人对不同波长下的色相感知最小可觉差，探究人眼色彩感知基于波长进行，并且具有离散性、非均匀性、非渐进式的色相感知特性。

2. 实验范式

心理物理学中的平均误差法

3. 实验假设

假设 1：在不同波长的色相刺激下，人的色相感知存在最小可觉差

假设 2：人对不同波长的色相刺激下的色相感知最小可觉差间存在差异

4. 实验仪器环境

实验仪器：配备高色准显示器的计算机/头戴式显示器

实验环境：无亮丽颜色干扰、光照恒定均匀的实验室环境/VR 环境

5. 实验变量

自变量：（ $9 \times 2 \times 2$ 的被试内设计，共 36 种处理，每种处理重复 2 次）

① **标准刺激波长：**牛顿光谱 380nm-780nm 波段间每隔 40nm 取该波长对应的颜色为标准刺激，不包含首尾 380nm 和 780nm，共 9 组波长：420nm、460nm、500nm、540nm、580nm、620nm、660nm、700nm、740nm。

② **标准刺激位置：**标准刺激和比较刺激并排排列，为了消除位置误差，一半标准刺激在左，一半标准刺激在右。

③ **比较刺激调节方向：**为了消除顺序误差，一半比较刺激从 380nm 开始向 780nm 增量调节，一半比较刺激从 780nm 开始向 380nm 减量调节。

因变量：

9 组波长下的色相感知最小可觉差

6. 被试要求

被试色觉正常，无色盲色弱障碍。

7. 实验程序

① 告知被试本次实验目的，签署被试知情同意书。

② 进入实验环境，显示指导语：

“本实验为色相感知最小可觉差测量实验。屏幕上将并排呈现两个**相同大小、相同明度、相同纯度**的方形色块，其中一个为标准刺激，色相无法改变；另一个为比较刺激，你可以调节其波长大小以调节色相变化。请你使用键盘调节比较刺激色块至两个色块无色相差异。按键盘‘→’键增大比较刺激色块的波长，按键盘‘←’键减小比较刺激色块的波长。你可以通过长按快速粗略调整波长，也可以通过点按小幅度调整波长。如果认为以调整至两色块无色相差异，请按键盘空格键予以确认，然后自动进入下一个试次。本实验将进行很多试次。”

③ 阅读完毕实验指导语后，进行测试实验阶段，该阶段为被试熟悉实验流程阶段，不计入实验结果。单个试次实验场景图如 2 所示：实验背景为白色背景（因为白色不在牛顿光谱色彩内，故以白色为背景），被试通过键盘左右键调节比较刺激色块的波长大小，当调整至两色块无色差差异时按空格进入下一试次：

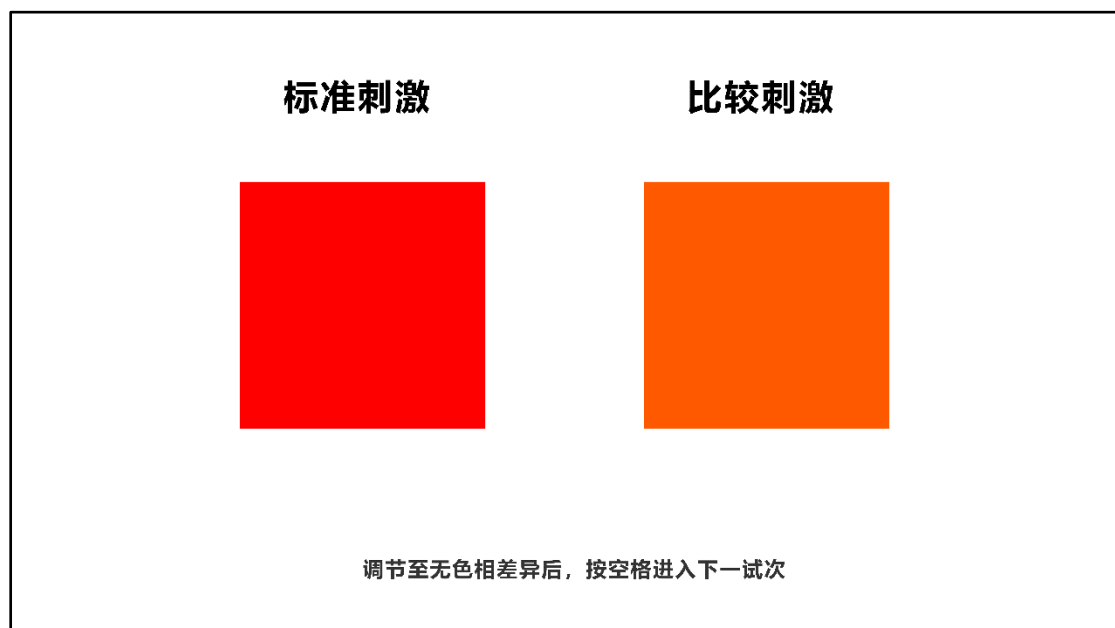


图 2 单个试次实验场景示意图

④ 熟悉实验流程后，进入正式实验阶段。正式实验阶段与测试实验阶段流程相同，并计入最终实验结果。

在正式实验阶段，试次间顺序的处理如下：

在标准刺激波长和比较刺激调节方向两个自变量维度，共 $(9 \times 2)18$ 种处理，采用随机排列的方式，每种处理重复两次，每个试次随机产生一种处理。

在标准刺激位置自变量维度，共 2 种处理，采用 ABBA 排列方式来消除顺序效应，即一半被试先进行标准刺激在左的所有试次再进行标准刺激在右的所有试次，另一半被试则完全相反。

正式实验共进行 $9 \times 2 \times 2 \times 2 = 72$ 个试次。

⑤ 正式实验结束后，邀请被试填写关于色相感知的主观量表（如果有类似的色彩感知主观量表的话，本文暂时未找到相关量表）。

⑥ 感谢被试参与，并给有需要的被试留下联系方式，待全部试验完成后做出事后解释。

8. 实验数据处理

① 计算不同波长的标准刺激下的被试感觉差别阈限/最小可觉差 AE：

$$AE = \sum \frac{|X - S|}{N}$$

其中，X 为用户每次调节的比较刺激色块的波长，S 为标准刺激色块的波长，N 为测试总次数。

② 比较不同波长的标准刺激下最小可觉差差异，与实验前的假设进行比较。

③ 评估标准刺激位置和比较刺激位置两个自变量对差别阈限的影响，从而检验顺序效应和位置效应的影响。

三、基于波长的色相远近距离感知特性探究实验

虽然本文主要探究问题是基于波长的离散性、不均匀性、非渐进式色彩感知探究，但不同波长、不同传播速度、不同抵达视网膜顺序的色光造成视觉感知的远近差异仍然是个有意思的课题，故本部分给出对于该现象的探究想法。

1. 实验目的

探究人眼对于不同波长的色相主观上的远近距离感知特性。

2. 实验范式

对偶比较法

3. 实验假设

假设 1：在不同波长的色相下，人对色彩的远近距离感知不同

假设 2：波长越长，人的距离感知越近；波长越短，人的距离感知越远

4. 实验仪器与环境

实验仪器：配备高色准显示器的计算机/头戴式显示器

实验环境：无亮丽颜色干扰、光照恒定均匀的实验室环境/VR 环境

5. 实验变量

自变量：(36×2 的被试内设计，共 72 种处理，每种处理重复 2 次)

① 两种色彩波长组合：牛顿光谱 380nm-780nm 波段间每隔 40nm 取该波长对应的颜色为标准刺激，不包含首尾 380nm 和 780nm，共 9 组波长：420nm、460nm、500nm、540nm、580nm、620nm、660nm、700nm、740nm。9 种波长色光两两组合，共 36 种组合方案。

② 组合图案位置：每种色彩组合方案共产生左右相反的 2 种组合图案。

因变量：

不同波长色相的感知距离评分

6. 被试要求

被试色觉正常，无色盲色弱障碍。

7. 实验程序

① 告知被试本次实验目的与实验流程，签署被试知情同意书

② 调试实验环境，调整组合色彩图案的明度和纯度到舒适不亮眼的程度，此后实验过程中出现所有色彩的明度和纯度以此为基准。

② 进入实验环境，显示指导语：

“本实验为色相远近距离感知测量实验。屏幕上将呈现由两个**相反色相嵌套关系、相同明度、相同纯度**的圆形色块嵌套而成的图案。请你尽可能快地判断该图案的视觉感受。如果你认为左侧图案符合“凸起的”“前进的”语义，而右图案符合“凹陷的”“后退的”语义，请按键盘‘←’键。如果你认为右侧图案符合“凸起的”“前进的”语义，而左侧图案符合“凹陷的”“后退的”语义，请按键盘‘→’键。完成按键后自动进入下一试次。本实验将进行很多试次。”

③ 主试向被试解释该语义的含义，但不提供任何色彩例子参考。

④ 被试完全理解语义含义后，按照指示语进入正式实验。

在正式实验阶段，试次间处理顺序如下：

72 种处理采用不放回的随机排列的方式，每种处理将在整个实验过程中出现 2 次，每个试次随机出现一种处理。单个试次场景如图 3 所示：

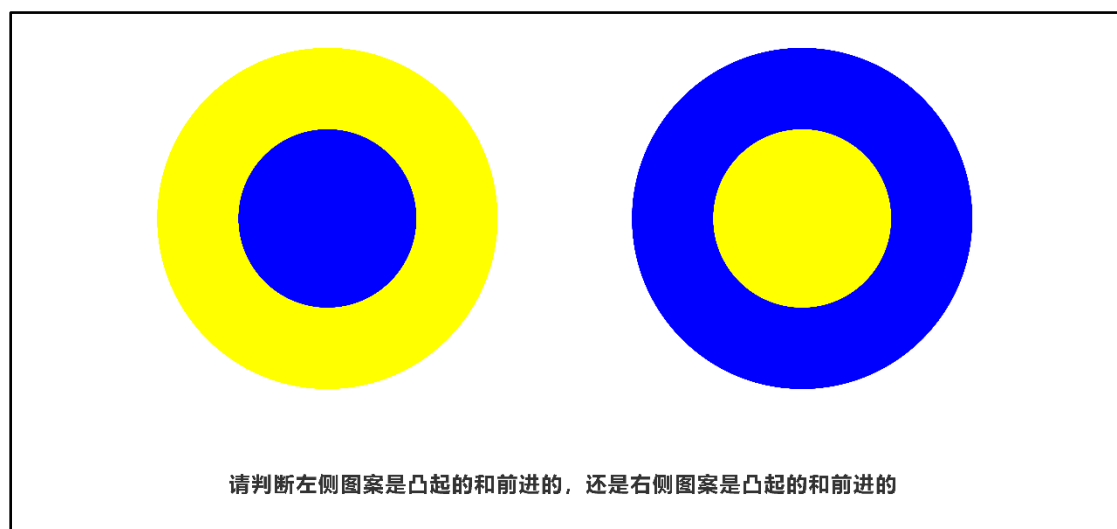


图 3 单个试次实验场景示意图

正式实验共进行 $32 \times 2 \times 2 = 144$ 个试次。

⑤ 正式实验结束后，感谢被试参与，并给有需要的被试留下联系方式，待全部试验完成后做出事后解释。

8. 数据处理

① 当用户按下“←”键，说明左侧图案小圆/右侧图案大圆颜色感知距离更近，记左侧图案小圆/右侧图案大圆颜色得 1 分；反之，记右侧图案小圆/左侧图案大圆颜色得 1 分。

② 将得分情况整理在如下表格：

表 1 不同波长色相两两配对的距离感知得分情况

波长	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm	740nm
420nm	-								
460nm		-							
500nm			-						
540nm				-					
580nm					-				
620nm						-			
660nm							-		
700nm								-	
740nm									-
总计									
得分									

③ 上表最终得分越高，说明该种色相远近距离感知越近；反之，说明该种色相远近距离感知越远。