

# 建立中国颜色体系

付便翔

林志定

(国家自然科学基金委员会, 北京 100083) (中国科学院心理研究所, 北京 100012)

**[摘要]** 本文概述了对用颜色立体模型表示物体颜色、并作定量表示的颜色体系研究的理论意义及应用价值。介绍了国际上影响较大的颜色体系理论和编制原则的特点。

中国颜色体系研究是在对国际上其它颜色体系的理论分析和对颜色样品测试的基础上, 确立其理论依据和编制原则, 开展了中国人眼对明度、色调、彩度等间距排列的视觉评价实验, 建立了中国颜色体系理论模型, 同时研制出《中国颜色体系样册》。

该项研究于1993年7月通过了国家自然科学基金委员会和中国科学院联合召开的成果鉴定, 并得到良好的评价, 又于1994年6月通过国家标准审查。

该研究的完成和推广, 不仅能为我国国民经济各部门的颜色控制、标定和交流提供科学的颜色定量手段, 同时也是对实用色度学的发展和颜色标准化工作作了有益的工作, 产生了积极的经济效益和社会效益。

**[关键词]** 颜色体系, 视觉均匀空间, 实物样册, 颜色标准

在国家自然科学基金会资助下, 由我国著名科学家王大珩院士和著名心理学家荆其诚研究员共同主持的“中国颜色体系问题研究”课题, 经过六年多的努力, 业已完成。该研究以颜色科学理论为依据, 参照各国已建立的颜色体系, 经我国人眼实验验证及大量计算后, 建立了“中国颜色体系”的理论模式, 并研制出“中国颜色体系样册”。1993年7月24日, 国家自然科学基金会和中国科学院联合对此项目成果进行了鉴定, 认为:“中国颜色体系问题研究课题所完成的颜色体系及实物样品的研制在我国属首创, 这一研究成果不但具有我国自己的特色, 而且可以与国际已有的其他颜色体系媲美, 达到了国际先进水平。”

## 1 颜色体系

颜色体系是以人的视知觉为依据, 经科学地定量描述后, 把物体表面色按某种规律所排列的立体模型(图1)<sup>[1]</sup>。

在颜色体系中, 每一种颜色均有其确定的位置, 并可定量地表示出来。一些国家按照自己的颜色理论编制了各种颜色体系模式和标准实物样品, 并广泛应用于各个领域。现做如下简介。

### 1.1 孟塞尔颜色体系 (Munsell Color System)

1905年美国孟塞尔用毕生精力创建了孟塞尔颜色体系, 并于1915年制出了第一个实物样册《孟塞尔图谱》(Munsell Atlas of Color)。他把物体表面色的三种基本属性——色调

本文于1994年10月10日收到。

( $H$ )、明度( $V$ )、采度( $C$ )用一个三维空间表现出来,并按人的视觉特性对它们分别进行等距排列,以此用来对颜色进行分类和标定。1918年美国国家标准局改善了原图谱在视觉上的不均匀性,于1929年出版了第二个实物样册《孟塞尔颜色图册》(Munsell Book of Color)。1943年美国光学学会制定出“孟塞尔新标系统”,出版了新图册。新图册色样品的编排在视觉上更接近于等距,并给出CIE1931色度学系统的色度坐标。由于孟塞尔颜色体系以杨-赫姆霍尔兹三色学说(红、绿、蓝为三原色)为理论依据,在编排上注意到人的视觉特性,又将颜色的三个属性直观形象地给以展示,使颜色工作者容易理解掌握,为颜色的使用提供了方便。因此孟塞尔颜色体系是目前诸多颜色体系中影响较大,较为广泛使用的一种颜色体系(图2)。

当然,孟塞尔颜色体系也还有不够理想的地方,如在等距编排上未做到完全理想均匀,其色调和彩度与CIE色度坐标值之间不能用显函数表示等。

### 1.2 美国光学学会均匀颜色标尺

1943年美国光学学会颜色委员会认为要解决“均匀颜色空间”中色标尺均匀的问题,就需要研制出具有均匀颜色值的实际产品,这些产品要经得起任何人的目视检验和仪器检验。1976年终于设计和生产出一套558种颜色样品。它是一个正四面体截割导出的空间晶格14面体的颜色立体,其每一层12个点与中心点以及另外12个点等距。该体系在理论上可以认为是理想均匀的色空间,但在实际应用上,由于其色度坐标的转换公式很复杂,其实物样品的排列又没能直接展示出均匀色空间的和谐性,使颜色工作者不易理解掌握它,从而限制了它的推广使用。

### 1.3 德国 DIN 颜色体系

50多年前以应用为目的发展起来的DIN颜色体系于1953年制出首批实物样品,1960年发行实用性的版本,用色调 $T$ 、相对亮度 $D$ 和饱和度 $S$ 来表示颜色的三维属性。它采用一系列折衷方式,使DIN和CIE两个系统的坐标有简便的互换关系。另一特点是在单个颜色属性变化时,整个系列仍能保持目视间距相等,但三维属性整体间的间距则不一定相等。1980年出版的589块实物样册,每个样品同时给出标准照明体 $C$ 和 $D65$ 两种色度坐标值(视场均为 $2^\circ$ )。这一改动符合CIE的推荐,为实际运用带来了方便。但由于该体系并不能反映人类颜色视觉规律,其影响远远不如孟塞尔颜色体系。

### 1.4 瑞典自然颜色体系(Natural Color System, 简称NCS)

瑞典颜色中心于1979年研制成功有1452块色样的自然颜色体系(NCS)。它是根据人的

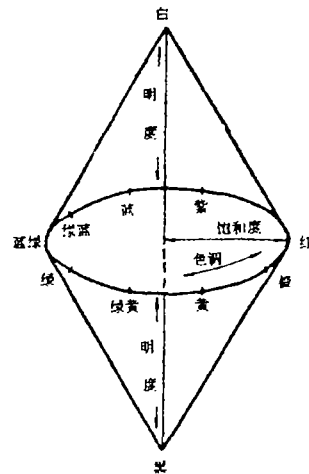


图1 颜色立体

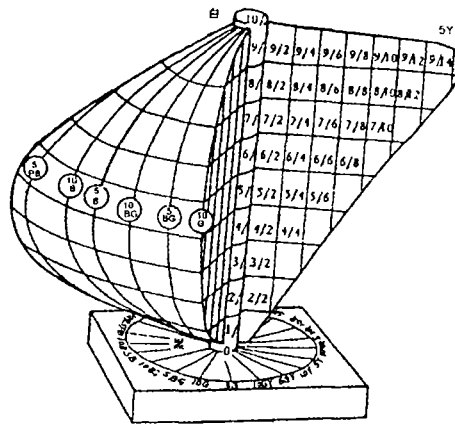


图2 孟塞尔颜色体系

主观感觉、对颜色的自然表现进行分类和编排。它以赫林的四色对立颜色学说为理论依据,把纯白、纯黑为非彩色原色,纯红、纯绿、纯黄、纯蓝为彩色原色。它用色调 $\phi$ 、黑度 $S$ 、彩度 $C$ 来表示颜色的三属性。其色样品的等距排列是根据直接观察的相似程度来编排的,而不是其它体系采用的“混合比较”原则。对某一颜色色调的确定,是根据观察者对所呈现的色样品与观察者头脑中想象自然界中两个纯色的相似程度来确定的。为便于交流,NCS的实物样品也有CIE1931标准观察者( $2^\circ$ 视场)和标准照明体 $C$ 条件下的色度坐标。

### 1.5 其它颜色体系

此外,还有德国奥氏(Ostwald Color System)、欧洲(Eurocolor—CIELAB)及匈牙利Coloroid等颜色体系。曾在前东德使用的奥氏体系,因其自身原因,目前已有被淘汰的趋势。而近几年德国的欧洲颜色体系,是从CIELAB颜色空间中选取样品和进行标号,符合色度学和计量学的原理,该体系直接同CIE对应,每一变量都是显函数关系式,可以用物理手段测量。但该体系目前对其它国家(除德国外)未产生明显的影响。匈牙利颜色体系主要是从美学角度出发编制的,目前尚未得到广泛应用。

有的国家还把其颜色体系和实物样册制定为国家标准,如NCS的标号方式和色样品色度坐标不仅被订作瑞典国家标准,还作为挪威国家标准;DIN被作为德国工业标准DIN6164;孟塞尔颜色体系被制定为美国ASTM-D1535(90)。近年来,颜色体系的研究和应用愈来愈受到重视,国际颜色学会(AIC)、国际标准化组织(ISO)及国际照明委员会多次举行会议,讨论颜色体系标准化,或讨论创建、推荐一个国际颜色体系问题,但至今仍未产生。

## 2 建立中国颜色体系

色度学在中国作为一个专门的学科研究起步较晚。为了适应国际交往和贸易的需要,保证产品质量,便于颜色信息的交流与传递,我国在颜色管理和应用方面同样需要建立一个标准颜色体系。在对国际上已有的颜色体系及其三维空间模式的调查分析中,我们认识到,一个能得到承认和推广的颜色体系必须要有科学的理论原则,在空间排列上要注意人的视觉特性,应依据心理物理学实验结果进行设计,体系的颜色样品必须建立在色度计量的基础上。同时,一个合理的颜色体系还应是颜色工作者操作简便的使用工具。遵循上述原则,我们进行了一个包括物理学、心理学、计量学及涂料工艺等多学科综合研究。

### 2.1 中国颜色体系的理论依据及编制原则的确立

中国颜色体系的理论依据 (1)当代颜色视觉研究已证明三色学说和四色学说被颜色视觉的阶段学说统一起来了。现国外颜色体系多数以三色学说为理论原则,中国颜色体系采用三色学说为理论依据。(2)在确定中国颜色体系及编排原则、标定方法等方面应注意国际交流的方便和实用等因素,并应考虑到与国内各行业现有的专用色谱的兼容关系。(3)对中国颜色体系色空间的明度、色调和彩度的均匀分级,应进行中国人眼的心理物理验证实验,提出基础色度分级。(4)颜色样品的色度测量方法、照明和观察条件要符合国际颜色测量新的发展趋势和规定。

编制原则的特点及其实验研究 (1)经过对世界现行颜色体系进行分析研究,特别是分析消化了美国的孟塞尔体系,“中国颜色体系”的编制原则是既要符合当代色度学原理,又要照顾到国民经济活动中的习惯使用要求,决定采用颜色三属性(色调、明度、彩度)做为颜

色空间的三维坐标,并以红、黄、绿、兰、紫五基色为色调环上的主色。该体系采用视觉等距原则划分三维坐标的量级。色调环按逆时针方向排列,与CIE1931色度图保持一致。(2)确立以 $D_{65}$ 光源及 $10^\circ$ 视场作为样片标准的测量条件。此条件和国际颜色测量发展趋势相符合。(3)为实现中国颜色体系色空间中的明度、色调、彩度变化在视知觉上是等距的理论原则,进行了“中国人眼视觉特性的实验研究”。

通过“颜色样片明度视觉等距编排评价实验”中得到“中国人眼明度 $V$ 与三刺激值 $Y$ 的关系”结果,但还不能直接用作中国颜色体系色空间明度均匀标尺,须经数学回归计算并多次推导后得到中国颜色体系 $V$ - $Y$ 关系式,再进行 $V$ 与 $Y$ 的转换,才得到了理想的中国颜色体系明度理论值。

同样,在“颜色样片色调、彩度视觉等距编排评价实验”的两个实验中,得到中国人眼对色调等距评价结果。尽管已采取对观察者在选择样片次数上加权计算色空间三刺激值,但这些结果的色度坐标点在CIE色度图上的分布仍不很理想,为此采用数学多项式曲线拟合,反复计算,逐点圆滑,进而得到较为理想的坐标值。

通过上述三个系列实验和大量计算,最终得到了颜色空间中1368个色度理论值,提出了中国颜色体系色空间均匀标尺理论值,实现了中国颜色体系理论框架设计。

## 2.2 实物样册的研制

2.2.1 中国颜色体系样品色差宽容度的制定 为保证“中国颜色体系样册”起到基础量值信息传递的作用和颜色样品复制时的精度要求,就需为样品色度值与理论值之间提供一个合理的允许的色差宽范围。虽然国外各颜色体系均提出了颜色样品色度值的色差宽容度。但我国不少学者对国际上已有的颜色体系样品进行色度测量所得结果与其理论值比较,差距较大,大家对各国提出的宽容度是否合理,看法不一。至今,还未见到一致公认的如何合理提出色差宽容度的专项报告。在此状况下,为合理确定中国颜色体系颜色样品色差宽容度,我们开展了“中国人眼对表色色差评价实验研究。”

在该实验中对颜色空间中色调、明度和彩度特性展开了全方位的评价研究,探讨这三属性对人眼色差识别的作用和影响,使其色差感觉阈限值和各类感觉等级值( $\Delta E$ )的实验研究结果更趋完善。根据41个样系、2460人次的研究结果,提出了中国颜色体系中无彩色系样品 $\Delta E < 1.5$ ;彩色系样品 $\Delta E < 3.0$ 的色差宽容度。该结果为中国颜色体系样品色差宽容度的确定提出了科学依据并使它符合中国人视觉特性。同时,经工艺技术路线的实践和样品色度测试结果证实,该结果也是合理的。

2.2.2 中国颜色体系样品工艺制作 有了色差宽容度后,就可进行颜色样品涂料工艺制作。(1)根据现有条件,选择及搜寻所有涂料(包括进口颜料),最大限度地满足体系的色域要求。选用合适的纸基和涂料,并经过人工老化试验,以确保样品色度的持久性。(2)“中国颜色体系样册”<sup>[2]</sup>制作工艺是采用现代化的计算机配色和人工调整颜色样品分光曲线的办法,尽可能保证各色样品的精度。(3)严格进行色度控制,利用计量院的色度测量手段,实测了每一色样的色度值,以保证色差在标准公差范围之内。

2.2.3 样册的精度 为考核“中国颜色体系样册”颜色样品的精确度,我们计算了颜色样品与对应的理论值之间的色差( $\Delta E$ ),并与Smith等人(1990)对瑞典NSC、德国DIN6164样册及美国OSA-UCS样册的颜色样品测试结果进行了比较,结果见表1<sup>[3]</sup>。

表1 中国颜色体系、NCS、DIN及OSA-UCS体系颜色样品色差( $\Delta E$ )的比较

各颜色体系	总 数	$\Delta E \leq 1.0$		$1.0 < \Delta E \leq 3.0$		$\Delta E > 3.0$	
		个数	百分比	个数	百分比	个数	百分比
中国颜色体系	1322	262	19.81%	850	64.29%	210	15.88%
瑞典 NCS	1378	17	1.24%	279	20.25%	1082	78.51%
德国 DIN6164	581	103	17.72%	442	76.08%	36	6.20%
美国 OSA-UCS	558	249	44.62%	255	45.69%	54	9.67%

由表可见,“中国颜色体系样册”的色样品实测值与理论值间的平均色差小于瑞典 NCS 体系,而与德国 DIN 体系的色差相当,略低于美国 OSA-UCS 体系的色差。这里须说明的是,OSA-UCS 体系中的 558 个色样品色度值是中等明度,中等彩度的色度范围,在工艺方面是较易实现的,因而客观上它的色差是小的。

在成果鉴定基础上,项目组又进行了“中国颜色体系”及“中国颜色体系样册”的国家标准编制,并于 1994 年 6 月通过审查,GSB A26003-94《中国颜色体系样册》也即将发行。这是我国首次在颜色领域中制定的基础标准,它将改变我国目前在颜色方面的一些不规范作法,提高我国颜色标准化工作的科学技术水平,为国民经济各部门的颜色控制、标定和交流,提供了科学的颜色定量方法和进行颜色对比的实物依据,并加快了与国际标准化接轨的步伐。

### 参 考 文 献

- [1] 荆其诚,焦书兰,喻柏林,胡维生. 色度学. 科学出版社,1978.  
 [2] GSB A 26003. 《中国颜色体系样册》.  
 [3] Smith N S, Whitfield T W A, Wiltshite T O. Color Research and Application, April 1990, 15 (2).

## DEVELOP THE CHINESE COLOR SYSTEM

Fu Bianxiang

(National Natural Science Foundation of China, Beijing 100083)

Lin Zhiding

(Institute of Psychology, Chinese Academy of Science, Beijing 100012)

**Abstract** This paper gives an overview of the theoretical implications and practical value of research on constructing a color model to represent solid-object color and its quantitative description. It also introduces theories and principles of color systems most commonly used worldwide.

The theory and principles of the Chinese Color System are based both on a theoretical analysis of the color systems of other countries and on color sample measurements. This research developed experiments to evaluate the uniform scales for the perception of brightness, hue and chroma of the Chinese eye. The results were the basis for the model of the Chinese Color Systems, and were used in constructing an “Album of the Chinese Color System”.

This research was approved by the National Natural Science Foundation of China and Chinese Academy of Sciences joint review committee in July of 1993. It was evaluated favorably, and in June 1994 passed the National Standards examination.

The completion and dissemination of this research not only provide departments of national economy with scientific methods for color control, standardization and information transfer, but also advances the applications of colorimetry and color standardization, thus producing positive economic and social benefits.

**Key words:** Color system, Vision uniform space, Album of actual object, Colorimetry standards

· 信息 ·

## 张存浩主任等会见杨振宁教授

1995年1月11日张存浩主任等委员会领导在北京西苑饭店会见了杨振宁教授。会见中,我委员会领导向杨教授介绍了国家自然科学基金“九五”计划的要点和优先资助领域的主要内容,着重介绍了希望“九五”期间国家自然科学基金经费能继续有较大幅度增长的目标。会见中,杨教授很有兴趣地询问了我委员会的资助规模、经费强度、基础研究与应用基础研究的比例等情况,对几年来的科学基金工作给予了充分肯定。并就优先资助领域问题、国家自然科学基金“九五”计划与经费设想问题、有关核聚变应用前景的问题、关于基础研究的重要性以及人才培养等有关方面的问题发表了许多重要意见。

最后,在谈到中国科学的未来,杨振宁教授说,在20世纪初,印度科学比中国领先,早年就出现了象拉曼这样的著名科学家。但二次大战后,很难说占有一席之地了。在美国也有一些印度科学家,但数量与工作都不如华人。在国内,他们也难有突破。对于中国,内行的人认为要采取乐观的态度。我有一篇文章(指“近代科学进入中国的回顾与前瞻”,见《中国科学基金》1994年第2期)是讲这个问题的。问题主要是钱。中国现在的确还穷,但中国领导人对于科学技术的重视,超过西方国家领导人。我相信,到了21世纪中叶,中国极可能成为一个世界级的科技强国。

(国际合作局美大处供稿)