

中国人眼白—黑系列明度等级的实验研究¹⁾

孙秀如 林仲贤 荆其诚

中国科学院心理研究所

李亚璋

中国建筑科学研究院物理所

摘 要

本文报道了中国人眼白—黑系列明度等级的实验研究结果,并与孟色尔体系的白—黑系列结果作了比较。结果表明,明度值(V)和亮度因素(Y)之间的关系是一种非线性关系。中国人的明度值,以明度等级5(即 $V=5.00$)为中点,无论在高明度等级一端,或是低明度等级一端,都与孟色尔体系的结果有一定差别。在高明度一端,亮度因素值(Y)低于孟色尔体系的结果,而在低明度一端,亮度因素值(Y)则高于孟色尔体系的结果。本结果对研制中国色谱中的白—黑系列具有积极意义。

一、问题的提出

颜色体系是以人的视觉特性,把物体表面色的基本特性按一定规律排列及定量描述的颜色序列的立体模型。每一种颜色在颜色体系中都有其确定的位置,并可以定量地表示出来。颜色体系的研究在颜色科学领域中具有重大的理论意义和广泛的应用价值。国外有关颜色体系的研究已有较长的历史,许多国家都先后提出了各自的颜色体系,如美国的孟色尔颜色体系、美国光学会均匀色空间(OSA—VCS)、瑞典的自然颜色体系(Natural Color System)、德国的奥斯特瓦尔德颜色体系(The Ostward Color System)以及日本的色彩世界5000(Chroma Cosmos 5000)等^[1-7]。国外的这些颜色体系已广泛应用于国民经济的各方面,并成为颜色定量管理的基础,已在颜色信息交流方面起着重要作用。

我国在颜色科学研究方面起步较晚,但随着我国彩色工业的发展,颜色标准化的研究工作已越来越受到各部门的重视。国家技术监督局于1988年5月支持和组建了全国颜色标准化技术委员会,并组织开展中国颜色体系的研究工作。

中国人眼白—黑系列明度知觉等级的研究便是一项为开展中国颜色体系的进一步研究奠定基础的工作。因为任何一种颜色体系都必须具备白—黑系列中心轴明度等级。所

• 本研究得到国家科学委员会、国家自然科学基金的资助

1) 本文于1989年4月27日收到。

谓白—黑系列即是非彩色系统,它主要是以明度这一特性表示人的视觉等级的差异。在物理学中用反射率(Y)表示物体表面白与黑的程度。白的表面对光反射率高,如氧化镁反射率可高达97.5%;而黑的物体表面则对光反射率低,如黑色丝绒的反射率可低至为0.3%。心理物理学的有关研究表明,人眼对明度具有选择性的反映特点,如果让其在最白和最黑的中性灰度系列色样之间选出一块处于最黑和最白两者中间,具有同等差别的色样时,人们所选出来的色样通常不是反射率为50%左右的一块,而是比反射率50%要低得多的一块(感觉值)。人们发现,在感觉值(V)与物理值(Y)之间存在着一种非线性关系,在孟色尔最初的明度等级排列中,其明度值(V)与反射率(Y)大致可以用平方根关系来表示,即 $V = 10\sqrt{Y}$ 。美国光学学会的孟色尔小组委员会对孟色尔颜色系统不断地深入研究和修改。孟色尔新标系统对其明度值与反射率的关系用以下的多项式表示:

$$\frac{100Y}{Y_{MgO}} = 1.2219v - 0.23111v^2 + 0.23951v^3 - 0.021009v^4 + 0.0008404v^5$$

国际照明委员会(简称CIE)认为上述公式比较复杂,不便于使用,并分别于1964年和1976年做了二次修改。1976年经CIE修改后的公式为: $L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16^{(1)(7)}$ 。其中 Y_0

表示完全反射漫射体的反射率,即 $Y_0 = 100$ 。

人眼白—黑系列的明度等级都是通过对人的视觉实验来确定的,但不同人种的视觉明度等级是否存在差异?一直引起人们的关注。目前对国际上影响较大的美国的孟色尔颜色体系和瑞典的自然颜色体系,甚至包括其它的颜色体系都是以白色人种进行白—黑系列的视觉评定实验。如果以白种人的结果作为我国颜色体系白—黑系列的明度等级依据,看来是不合适的。为此我们开展了本实验研究。

二、方法与步骤

国际上对颜色体系的标准实物样品的制作有着不同的途径和工艺技术路线,其中有树脂涂料、喷涂、印刷、染料织物及塑料等实物样品,但我们经过认真调查后选取了树脂涂料工艺,因在实际应用上证明以树脂涂料的工艺样品为最佳。它既能保证标准样品的无光泽特性,及色度值的准确性,同时又具有较理想的均匀性和耐候性,即对气温和空气湿度变化具有一定的稳定性等特点。但其工艺路线的实现因受国内现有的原材料质量及其它因素的影响,实验中困难也较大,我们在工艺技术路线确定以后,便对研制样品所需用的颜料、纸基、树脂、填料、消光剂以及干料等进行了初步的试验筛选,确定了最佳的配方。经过研磨、调漆、喷涂等工序,最后制成了本实验所需的白—黑系列灰度实验用样品。实验用的样品共选取65块。其中反射率97.5%的样品是采用烟熏氧化镁,反射率0.3%的样品是选取黑丝绒制作。反射率1.9%的样品是黑棉织布,其余的62块样品都是采用无光泽的中性树脂涂料制成。由这65块样品组成了本实验的白—黑系列的试验色样。各样品的反射率和中性度水平见表1。

对试验用样品都进行了分光测定。所用仪器是一台日立607型彩色分析器。此仪器能自动测出样品从380nm—780nm的各波长的反射率数值,用于本仪器的标准白样品系经

表1 样品的反射率、色度坐标(C光源)

序 号	反 射 率(%)	色 度 坐 标		误 差*
		x	y	
1	88.09	0.3091	0.3181	0.00257
2	81.86	0.3085	0.3172	0.00183
3	80.54	0.3086	0.3170	0.00163
4	79.99	0.3087	0.3171	0.00167
5	79.32	0.3085	0.3166	0.00122
6	77.22	0.3088	0.3172	0.00178
7	76.47	0.3087	0.3170	0.00156
8	73.35	0.3087	0.3170	0.00156
9	72.95	0.3089	0.3173	0.00176
10	71.06	0.3087	0.3169	0.00142
11	70.03	0.3087	0.3169	0.00142
12	65.19	0.3092	0.3174	0.00195
13	59.67	0.3086	0.3168	0.00142
14	56.23	0.3086	0.3170	0.00156
15	53.53	0.3088	0.3172	0.00174
16	51.07	0.3089	0.3173	0.00183
17	45.81	0.3102	0.3189	0.00382
18	44.07	0.3082	0.3169	0.00167
19	43.55	0.3088	0.3176	0.00214
20	43.21	0.3087	0.3176	0.00209
21	41.11	0.3077	0.3164	0.00167
22	40.22	0.3089	0.3178	0.00231
23	38.41	0.3088	0.3177	0.00221
24	35.65	0.3085	0.3175	0.00205
25	35.42	0.3082	0.3172	0.00194
26	34.47	0.3087	0.3177	0.00227
27	32.62	0.3081	0.3173	0.00200
28	31.13	0.3076	0.3167	0.00195
29	30.57	0.3081	0.3172	0.00198
30	30.08	0.3080	0.3171	0.00197
31	29.73	0.3079	0.3171	0.00204
32	29.05	0.3081	0.3173	0.00205
33	27.56	0.3080	0.3173	0.00208
34	24.87	0.3078	0.3172	0.00213
35	24.29	0.3079	0.3173	0.00214
36	22.48	0.3081	0.3171	0.00192
37	21.07	0.3071	0.3165	0.00224
38	20.33	0.3070	0.3165	0.00230
39	19.51	0.3065	0.3160	0.00264
40	18.83	0.3072	0.3167	0.00220
41	17.03	0.3067	0.3169	0.00242
42	16.26	0.3081	0.3155	0.00304
43	15.88	0.3060	0.3156	0.00313
44	14.14	0.3056	0.3148	0.00361

表1(续)

序 号	反 射 率(%)	色 度 坐 标		误 差*
		x	y	
45	12.91	0.3051	0.3144	0.00414
46	11.57	0.3044	0.3136	0.00505
47	10.76	0.3038	0.3133	0.00579
48	9.93	0.3051	0.3131	0.00465
49	9.11	0.3052	0.3129	0.00467
50	8.24	0.3034	0.3115	0.00698
51	7.94	0.3042	0.3121	0.00591
52	7.57	0.3045	0.3125	0.00548
53	7.05	0.3040	0.3122	0.00608
54	6.66	0.3048	0.3124	0.00531
55	6.28	0.3049	0.3126	0.00511
56	6.06	0.3047	0.3121	0.00554
57	5.81	0.3058	0.3133	0.00396
58	5.66	0.3051	0.3121	0.00526
59	5.30	0.3059	0.3133	0.00391
60	5.03	0.3037	0.3129	0.00431
61	4.29	0.3083	0.3153	0.00080
62	3.90	0.3091	0.3155	0.00003
63	1.90	0.3072	0.3106	0.00528
64	0.30	0.3093	0.3155	0.00016
65	97.5			氧化镁色样

- * 表中误差值为在CIE1931xy色品图上C光源坐标点与C光源照射下的样品的坐标点之间的距离。氧化镁色样系一块具有完全反射漫射体的白色样品。

中国计量科学研究院标定的白色海伦标准板。其标定值见表2。从表2可看出,此标准白板的反射率达到很高的水平。

依据表1中样品的中性度误差值,我们曾与国外同类产品作了比较,可以认为,样品的中性度水平已达到了国外同类产品的水平。

1. 实验所用光源

实验用光源系采用自室内北面窗口射入的晴天或晴天少云的条件下的自然光。从上午9:00—11:00,下午2:00—4:00。其窗口前无遮挡物,照度控制在800—1000勒克斯范围。此条件相当于6500°色温的光源条件。

2. 被试的选择

因明度值是人眼对物体的明亮感觉,它受人的视觉感受性和过去经验的影响,在选取被试时要充分考虑到年龄、文化、职业等因素的影响。本实验被试者的年龄在18—34岁之间,全部被试人数为220人,其中男女各半,文化水平在高中或相当于高中水平以上(含高中)。被试者中有技术人员、大学生、技术工人。全部被试者都经检查属视觉正常者。在进行正式实验前,每一个被试者都给予一定次数练习,使其理解实验的目的和要求,认真进行实验。

3. 实验方法

表2 海伦标准白板色度数据(C光源)

波 长 (nm)	反 射 率 (%)						
380	98.8	385	98.8	390	99.1	395	99.5
400	99.3	405	98.9	410	99.3	415	99.2
420	99.4	425	99.5	430	99.2	435	99.2
440	99.4	445	99.1	450	98.9	455	99.5
460	99.6	465	99.3	470	99.3	475	99.3
480	99.1	485	99.3	490	99.6	495	99.1
500	99.3	505	99.3	510	99.2	515	99.4
520	99.2	525	99.3	530	99.2	535	99.3
540	99.5	545	99.2	550	99.5	555	99.5
560	99.3	565	99.4	570	99.5	575	99.4
580	99.3	585	99.2	590	99.1	595	99.1
600	99.5	605	99.3	610	99.1	615	99.4
620	99.3	625	99.1	630	99.3	635	99.5
640	99.3	645	99.4	650	99.3	655	99.4
660	99.3	665	99.5	670	99.2	675	99.2
680	99.5	685	99.3	690	99.2	695	99.5
700	99.5	705	99.3	710	99.6	715	99.5
720	99.5	725	99.5	730	99.4	735	99.6
740	99.4	745	99.5	750	99.5	755	99.4
760	99.4	765	99.5	770	99.4	775	99.4
780	99.3						

$$X = 97.40 \quad Y = 99.33 \quad Z = 117.38 \quad x = 0.3101 \quad y = 0.3162$$

用反射率约为20%的中性灰作为背景。试验用的样品均随机地放置于背景上。被试者在视觉评价时,因每一样品面积为 $3 \times 3 \text{ cm}$,双眼距样品的垂直距离为50cm,这就使视觉评价保持在 2° 视场。由于照明方向和观察条件会对人眼的判断结果产生一定影响,因此有必要对实验中的照明和观察条件规范化。本实验研究中采用CIE1971年正式推荐的 $45^\circ/\text{垂直}$ (缩写:45/0),即光线从样品表面法线 45° 方向照射,被试者从样品表面的上方(大约垂直于样品表面)进行观察。观察方向和样品的法线间的角度不超过 10° 。

实验是个别进行。首先要求被试者在白—黑系列样品中选出一块与氧化镁和黑丝绒样品在明度距离上有同等差别的中灰样品,亦即找出一块他认为在视觉中处于明度刚好是两者之间的中间一块。然后再在黑样品与中灰样品之间作等分,选出两者之间的另一灰样品。用同样步骤在白样品与中灰样品之间作等级连续等分,直到得到由白—黑等距差的9个级差为止。在等级排列过程中,白样品和黑样品出现在被试者的左、右位置上的机会均等,以此排除人的视觉常性误差。

三、结果和讨论

对220名被试的实验结果首先进行算术平均,如表3所示。

上述的实验结果是以亮度因数 $Y = 97.5$ 对应明度 V 为10,实际上应是 $Y = 100.0$ 时对

表3 中国人眼白—黑系列明度等级算术平均数

V	10.00	8.75	7.50	6.25	5.00	3.75	2.50	1.25	0
Y (%)	97.5	69.24	41.09	27.04	19.01	13.80	9.30	4.61	0.3

应的明度 $V = 10$, 故此曲线的分度需做适当调整。为得到中国人眼明度 (V) 与亮度因素 (Y) 之间的函数关系, 用数学回归法进行处理, 得到如下关系式:

$$Y = 0.19791V + 2.90932V^2 - 0.97988V^3 + 0.13364V^4 - 0.0054912V^5$$

将有关数值代入, 最后得到中国人眼明度 (V) 和亮度因素 (Y) 之间的关系。结果如表4及图1所示。

表4 中国人视觉明度值 (V) 和亮度因素 (Y) 的关系

V	10.00	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.00
Y (%)	100.00	75.63	53.51	36.41	24.76	17.59	13.21	9.98	6.15	2.25	0.00

图1中的中国人视觉明度值 (V) 和亮度因素 (Y) 的关系曲线 (实线所示) 是以亮度因素 (Y) 为横坐标, 明度值 (V) 为纵坐标绘制的。

从表4可以见到, 中国人眼白—黑系列明度等级的评定结果, 表明了我国人的视觉选择不是以物理上的反射率为50%的样品为最白至最黑的中间值 (即 $V = 5$ 时), 而是反射率为17.59%的样品。这是人眼的明度知觉特性, 它是属于一种感觉值。

为了将中国人视觉明度值和孟色尔颜色体系中的明度值能在同等的条件下进行比较, 我们都采用绝对亮度因素值, 亦即完全反射漫射体的亮度因素 $Y = 100$ 。两者的比较结果如表5所示。

表5 中国人视觉明度值与孟色尔体系明度值比较

V		10.00	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.00
Y	孟色尔	100.00	87.69	57.52	41.01	29.25	19.24	11.68	6.33	3.04	1.18	0.00
	中国人	100.00	75.63	53.51	36.41	24.76	17.59	13.21	9.98	6.15	2.25	0.00

从图1和表5中可以看到, 中国人的视觉明度值的数值, 如果以 $V = 5.00$ 作为分界线, 则无论在高明度的一端, 或是在低明度的一端, 与孟色尔的结果相比较存在着一些差别。

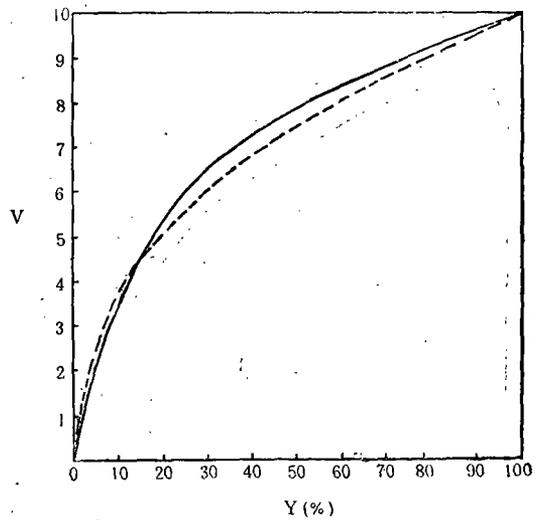


图1 中国人明度值与孟色尔明度值 (V) 的比较
实线——代表中国人眼视觉明度值
虚线——代表孟色尔明度值

这种差别表现为中国人在高明度一端亮度因素值(Y)低于孟色尔白种人的结果,而在低明度一端,亮度因素值则高于孟色尔白种人的结果。这种差别是由于种族的差别所造成还是由于文化背景及经验等因素的影响,尚有待进一步研究。但这种差别,在研制我国色谱时是需要认真考虑的。本实验结果可作为研制我国色谱中的白—黑系列的基本数据。

参 考 文 献

- [1] 荆其诚等著,色度学,科学出版社1979年版,199页。
- [2] Newhall, S. M.; Nickerson, D.; and Judd, D. B.; Final report of the O.S.A. subcommittee on spacing of the Munsell colors, *J. Opt. Soc. Am.*, 1943, 33, 385.
- [3] The Munsell Book of Color, Matte Finish Collection, 1973.
- [4] The Munsell Book of Color, Glossy Finish Collection, 1974.
- [5] Hard, A.; and Sivik, L.; NCS natural color system; a Swedish standard for color notation; *Color Res. Appl.*, 1981, 6, 129.
- [6] Wyszecki, G.; and Stiles, W. S.; *Color Science*, 2nd. ed. 1982.
- [7] Robertson, A. R.; The CIE 1976 color difference formula; *Color Research and Application*, 1977, 2, 7.

AN EXPERIMENTAL STUDY OF BRIGHTNESS GRADE FOR WHITE AND BLACK SERIES AMONG CHINESE PEOPLE

Sun Xiuru Lin Zhongxian Jing Qicheng

Institute of Psychology, Academia Sinica

Li Yazhang

Institute of Physics, Academy of Architecture Science

Abstract

The brightness grade for white and black series among Chinese people was studied in this experiment. There were equal number of males and females among the 220 Chinese Ss aged 18—34. The results showed that there was an unlinear relation between the brightness values (V) and the luminance factors (Y). Compared with the Munsell white and black series system, the values of luminance factors in the brightness grade for white and black series were different.