

# 中国人眼对非彩色系表色色差 辨别的实验研究<sup>1)\*</sup>

孙秀如 林志定 张家英 林仲贤 荆其诚

(中国科学院心理研究所,北京,100012)

## 摘 要

报道了中国人眼对表色色差辨别的实验研究中非彩色系实验研究结果,并与国外有关结果进行了比较。结果表明,非彩色的明度特性变化,对人眼色差辨别无显著影响。色差值仅随目视评价的感觉等级不同而异。此结果与国外有关报道的结果基本一致。实验结果为中国颜色体系的非彩色系颜色样品提出了色差宽容度:  $\Delta E < 1.5$ 。此色差宽容度已被全国颜色标准化技术委员会认定为 GSB A26003—94《中国颜色体系》国家标准中颜色样品色差宽容度的技术参数。

关键词 人眼,辨别,色差,

## 1 问题提出

对“中国颜色体系”的研究,在确立了颜色体系色空间中的理论色度坐标值,建成了中国颜色体系理论模型后,还应按照其理论值,通过选定的工艺技术路线研制成《中国颜色体系样册》中的1386块颜色样品(以下简称样品)。在进行样品工艺制作时,我们面临着一个棘手问题,从理论上说,为了实现样品在实际应用时起到色度量值与有关信息的准确传递作用,制作出的样品色度值应与体系理论色度坐标值保持一致,但在实际操作中是很难做到这点的。原因在于,一是,受现有的工艺设备、颜料的品种和质量(鲜艳度、耐晒性、分散性等)及样品色度测量中误差等因素的影响,使得其色度值不能完全与理论值一致;其次,受经济和时间因素的制约,要达到理论上的要求,就必须多增加数倍的作业量,也必须增加数倍的资金、人力和物力的投入,并且须更长的时间才能完成样品的研制工作。这些因素和条件对我们研究者来说,是无法克服的,也是客观条件不允许的。而这个要求,美国 Munsell 颜色体系、瑞典 NCS 颜色体系、德国 DIN 颜色体系以及日本 C. C. 5000 颜色体系等也是达不到的。F. W. Billmeyer 和 N. S. Smith 等人先后对 NCS、DIN、OSA-UCS、C. C. 5000 颜色体系中的样品色度值测试结果证实了这一点。

上述的这些颜色体系的样品色度值与理论值之间存在着大小不一的色差,有些甚至很大。但在实际应用时,人们却又是把它们作为目视对比的标准物质。因而,它的色度值是不能随意的。如何克服这个矛盾?国际上已有的颜色体系的研究者,对样品色度值的还原规定了一个色差宽容度用来确保样品色度值的精度,见表1<sup>[1-4]</sup>。

1) 本文于1994年11月3日收到。

\* 本研究系为国家自然科学基金会资助项目。

表 1 Munsell、NCS、DIN、C.C.5000 四种颜色体系色差范围(绝对值)

国 别	颜色体系实物样片色差范围		
美 国 Munsell	AAA 级	$C \cdot \Delta H = 2.00$	$\Delta V = 0.05$ $\Delta C = 0.2$
日 本 C.C.5000	主 体 色	$\Delta E = 2.0$ 以内	明 度 标 准 $\Delta E = 1.0$ 以内
德 国 DIN	曾 经 为	$\Delta E = 5.0$	现 欲 改 为 $\Delta E = 1.0$ 左右
瑞 典 NCS	色 品 度	$\Delta C = \pm 2$ NCS	$\Delta \Phi = \pm 2$ NCS
	黑 度	$\Delta S = \pm 2$ NCS	(1NCS约等于 $\Delta E = 1.0$ )

从表 1 看到,各颜色体系的色差宽容度是不一致的。从色差的绝对值比较,它们之间的差异还是较大的。国际颜色学会(AIC)注意到了这个问题,并在 1983 年会议上建议能否有一个公认的、合理的色差宽容度。但各国研究者都认为自己的色差值是合理的<sup>[2]</sup>。在以后的多次会议上也曾讨论了这一问题,但至今未取得一致的意见。

中国颜色体系不仅要作为国家标准在国民经济各个有关领域中使用,同时也应进入国际交流的行列,中国颜色体系的样品色差宽容度应如何确定? 怎样才是合理的并且是可操作的? 为此,我们在对国际现状充分分析的基础上,开展了中国人眼对表面色色差辨别的实验研究,它可为中国颜色体系的样品色差宽容度的确定提出合理的依据。该项研究包含颜色中非彩色系列(也称白-黑系列)和彩色系列实验研究。本文仅报告非彩色系列实验研究的结果。

## 2 实验方法

根据中国颜色体系理论原则的规定,考虑到表色比色实验中的影响因素,本研究所采用的实验条件如下:

**2.1 光源** 采用美国 ACS 公司标准光源灯箱中的 D65 模拟光,照度在  $1000 \pm 100$  勒克斯。

**2.2 照明及观察方向** 采用 CIE 1971 年推荐的垂直/45° 方式,即垂直方向照射样片,45° 方向观察评价。

**2.3 观察背景环境** 进行表面色比色时,须避免背景色对试验色产生影响,要求实验的背景色是无光泽的,反射率  $Y_{10} \approx 30\%$  的中性灰。此设计条件符合美国 ASTM. D 1729-89 中的规定,与刚刚通过国家标准审查的“中国颜色体系表面色目视评价方法”中的要求一致。

**2.4 观察者** 观察者是色觉正常的男女大学生 60 人,其中男性 40 人,女性 20 人。年龄 18—25 岁,对颜色辨别有一定的经验和训练。

### 2.5 实验样片

**材质** 选用铜版纸纸基、喷涂无光涂料。

**明度值的选择** 中国颜色体系的明度轴是由白-黑 11 个等级组成的。11 个级别中 0 和 11 级反射比是理想的白和黑,它们在自然界中实际是不存在的,故不能复现。1、2、9 级的  $Y_{10}$  值分别为 0.91%、3.04%、79.85%。经使用国内外的钛白和炭黑颜料研制的样片的反射比  $Y_{10}$  不能达到小于 3% 和大于 92%,因而实验选取了明度轴上的六个明度级,但因比较样片的反射比  $Y_{10}$  在 4.22—84.34% 范围内,高、中、低明度级差均已包含,对实验

表 2 白-黑系列中标准样片和比较样片  $Y_{10}$  值和  $\Delta E$  值及感觉等级

标准样片 反射比(%)	比较样片 反射比(%)	$\Delta E$	相同 (次)	相似 (次)	微差 (次)	可觉差 (次)	可识别 (次)	大差别 (次)
6.61	6.67	0.15	12	21	23	2	1	1
6.61	6.83	0.51	15	19	21	2	2	1
6.61	6.86	0.58	19	19	22	0	0	0
6.61	6.99	0.88	14	18	24	3	1	0
6.61	7.02	0.95	9	23	22	3	2	1
6.61	7.27	1.51	3	17	26	10	2	2
6.61	7.49	2.00	3	16	15	15	7	4
6.61	7.92	2.91	1	5	21	14	15	4
6.61	8.11	3.31	0	6	19	10	19	6
6.61	8.08	3.41	0	5	15	11	23	6
6.61	9.30	5.60	0	2	2	11	23	22
6.61	9.48	6.01	0	3	2	14	20	21
6.61	10.01	7.07	0	0	0	7	16	37
6.61	10.56	8.07	0	0	0	7	10	43
6.61	11.12	9.00	0	0	0	1	9	50
6.61	11.75	10.03	0	0	0	3	5	52
6.61	6.64	0.08	14	16	24	4	2	0
6.61	6.53	0.20	14	26	17	1	2	0
6.61	6.48	0.33	19	18	22	0	0	1
6.61	6.42	0.47	14	17	25	2	2	0
6.61	6.23	0.91	14	18	18	7	3	0
6.61	6.21	0.97	10	16	24	5	4	1
6.61	6.15	1.13	10	15	18	11	3	3
6.61	6.01	1.47	11	16	18	9	2	4
6.61	5.83	1.91	10	15	14	8	8	5
6.61	5.75	2.13	5	16	19	9	7	4
6.61	5.44	2.92	2	16	15	7	11	9
6.61	5.32	3.28	2	9	16	12	12	9
6.61	4.04	4.04	0	12	12	10	15	11
6.61	4.95	4.29	0	12	12	9	17	10
6.61	4.70	5.07	0	10	11	7	16	16
6.61	4.37	6.08	0	10	6	8	17	19
6.61	4.22	6.53	0	9	4	8	15	24
11.02	11.05	0.08	20	20	20	0	0	0
11.02	11.15	0.23	21	13	26	0	0	0
11.02	11.26	0.41	11	21	26	2	0	0
11.02	11.28	0.45	12	20	27	1	0	0
11.02	11.38	0.61	13	20	24	2	1	0
11.02	11.50	0.80	9	23	26	1	1	0
11.02	11.59	0.95	8	24	27	1	0	0
11.02	11.62	1.00	9	20	28	2	1	0
11.02	11.92	1.51	4	20	26	8	2	0
11.02	11.87	2.02	0	1	6	22	22	9
11.02	13.21	3.51	1	14	12	17	12	4
11.02	13.72	4.27	0	10	12	14	19	5
11.02	14.26	5.05	0	10	9	13	20	8
11.02	14.71	5.77	0	0	0	8	20	32
11.02	15.22	6.44	0	0	0	7	18	35
11.02	15.94	7.41	0	0	0	4	14	42
11.02	16.48	8.10	0	0	0	4	9	47
11.02	17.19	9.01	0	0	0	4	8	48
11.02	17.97	9.96	0	0	2	3	6	49
11.02	18.30	10.36	0	0	0	5	7	48
11.02	10.95	0.14	20	23	17	0	0	0
11.02	10.90	0.22	20	23	17	0	0	0
11.02	10.85	0.31	21	17	19	3	0	0
11.02	10.68	0.59	17	21	20	2	0	0
11.02	10.66	0.61	13	23	23	0	1	0

续表 2

标准样片 反射比(%)	比较样片 反射比(%)	$\Delta E$	相同 (次)	相似 (次)	微差 (次)	可觉差 (次)	可识别 (次)	大差别 (次)
11.02	10.60	0.73	18	19	23	0	0	0
11.02	10.56	0.79	15	20	25	0	0	0
11.02	10.45	1.00	15	16	25	3	0	1
11.02	10.01	1.79	3	17	22	9	7	2
11.02	9.95	2.06	1	5	10	26	11	7
11.02	9.55	3.00	0	1	4	12	27	16
11.02	9.30	3.41	0	0	2	17	22	19
11.02	9.08	5.61	0	0	2	8	17	33
11.02	8.09	5.88	0	0	2	7	17	34
11.02	8.01	5.91	0	0	1	6	18	35
11.02	7.96	6.17	0	0	2	7	16	35
11.02	7.44	7.01	0	0	1	6	10	43
11.02	6.99	7.98	0	0	1	3	9	47
11.02	6.86	8.28	0	0	1	3	10	46
11.02	6.54	9.02	0	0	1	3	8	48
11.02	6.07	10.21	0	0	0	4	4	52
20.08	20.17	0.11	14	24	18	0	4	0
20.08	20.31	0.26	16	19	22	2	1	0
20.08	20.32	0.28	15	24	16	2	3	0
20.08	20.52	0.49	16	19	20	0	5	0
20.08	20.55	0.53	14	24	21	0	1	0
20.08	20.61	0.60	14	20	18	2	6	0
20.08	20.71	0.70	10	27	19	2	2	0
20.08	20.81	0.80	13	25	16	1	5	0
20.08	20.88	0.90	11	16	26	2	5	0
20.08	21.24	1.28	8	18	25	3	6	0
20.08	21.27	1.32	9	15	29	4	3	0
20.08	21.82	1.91	5	16	26	8	5	0
20.08	22.26	2.37	3	16	17	14	10	0
20.08	22.83	2.97	1	9	17	14	19	0
20.08	23.33	3.49	0	9	10	13	28	0
20.08	23.96	4.12	0	10	9	8	33	0
20.08	24.84	4.99	0	7	8	13	21	11
20.08	24.97	5.12	0	5	7	14	30	4
20.08	25.91	6.03	0	1	4	16	18	21
20.08	26.80	6.86	0	2	2	13	17	26
20.08	27.45	7.46	0	2	3	12	13	30
20.08	28.06	8.02	0	0	2	12	12	34
20.08	28.99	8.85	0	0	0	12	10	38
20.08	28.99	8.85	0	0	0	12	10	38
20.08	29.39	9.19	0	0	0	11	10	39
20.08	30.34	10.02	0	0	0	7	12	41
20.08	19.93	0.17	13	20	22	5	0	0
20.08	19.92	0.19	17	19	19	2	3	0
20.08	19.84	0.28	13	23	22	2	0	0
20.08	19.79	0.34	13	22	21	3	1	0
20.08	19.71	0.43	10	17	24	4	5	0
20.08	19.55	0.62	11	11	29	4	5	0
20.08	19.52	0.66	8	15	29	5	3	0
20.08	19.42	0.76	12	17	20	10	1	0
20.08	19.38	0.80	9	20	26	3	2	0
20.08	19.31	0.89	7	14	22	10	7	0
20.08	19.11	1.13	5	11	24	17	3	0
20.08	18.82	1.47	7	13	22	14	4	0
20.08	18.76	1.56	7	10	18	19	6	0
20.08	18.36	2.01	0	6	20	19	15	0
20.08	17.56	3.00	0	9	11	21	14	5
20.08	16.97	3.79	0	5	4	11	22	18
20.08	16.50	4.33	0	4	6	13	20	17
20.08	15.54	5.05	0	6	5	11	21	17
20.08	15.26	6.02	0	1	2	8	15	34

续表 2

标准样片 反射比(%)	比较样片 反射比(%)	$\Delta E$	相同 (次)	相似 (次)	微差 (次)	可觉差 (次)	可识别 (次)	大差别 (次)
20.08	14.70	6.78	0	0	1	7	10	42
20.08	14.26	7.44	0	0	1	5	10	44
20.08	13.78	8.12	0	0	1	5	10	44
20.08	13.21	8.94	0	0	1	5	9	45
20.08	12.10	10.56	0	0	2	5	6	47
29.58	29.81	0.25	14	16	25	4	1	0
29.58	29.79	0.31	13	17	23	6	1	0
29.58	29.89	0.37	12	19	22	6	1	0
29.58	30.16	0.53	9	12	34	4	1	0
29.58	30.22	0.60	10	17	27	4	2	0
29.58	30.37	0.70	12	21	19	7	1	0
29.58	30.45	0.82	9	15	22	8	6	0
29.58	20.54	0.90	13	12	22	9	4	0
29.58	30.77	1.04	7	16	27	7	3	0
29.58	31.35	1.52	6	7	25	7	15	0
29.58	32.48	2.46	2	12	17	12	15	2
29.58	33.12	3.01	3	8	13	13	19	4
29.58	34.10	3.79	1	11	6	8	27	7
29.58	35.53	4.89	0	8	5	8	31	8
29.58	36.45	5.60	0	5	1	10	23	21
29.58	37.34	6.27	0	8	1	8	20	23
29.58	38.59	7.18	0	6	0	7	15	32
29.58	39.72	8.00	0	4	0	7	10	39
29.58	41.24	9.07	0	3	0	3	12	42
29.58	42.65	10.04	0	2	0	5	7	46
29.58	29.48	0.11	10	27	13	5	5	0
29.58	29.40	0.20	11	25	19	2	3	0
29.58	29.39	0.30	17	16	23	2	2	0
29.58	28.99	0.52	13	17	21	6	3	0
29.58	28.85	0.64	16	18	16	6	3	1
29.58	28.80	0.69	16	12	24	6	2	0
29.58	28.67	0.81	17	16	19	3	5	0
29.58	28.50	0.95	10	20	24	6	0	0
29.58	28.45	1.00	18	13	16	10	3	0
29.58	27.95	1.50	6	14	21	12	7	0
29.58	27.44	1.92	4	12	12	16	12	4
29.58	26.80	2.51	2	11	9	18	15	5
29.58	26.38	2.90	0	9	10	8	23	10
29.58	24.27	4.94	0	6	2	12	16	24
29.58	23.33	5.88	0	2	0	5	17	36
29.58	22.83	6.37	0	3	0	8	13	36
29.58	22.26	6.96	0	2	0	5	14	39
29.58	21.27	8.02	0	3	0	4	6	47
29.58	20.32	9.06	0	0	0	4	6	50
29.58	19.42	10.09	0	0	0	4	5	51
43.09	43.12	0.16	15	18	19	3	0	5
43.09	43.22	0.21	19	12	23	1	1	4
43.09	43.54	0.31	22	19	14	2	1	2
43.09	43.68	0.41	19	20	14	2	2	3
43.09	44.03	0.73	18	17	15	4	3	3
43.09	43.99	0.80	9	14	30	3	2	2
43.09	44.53	0.97	13	19	18	3	2	5
43.09	44.61	1.02	9	19	24	2	4	2
43.09	45.21	1.42	12	17	20	5	4	2
43.09	45.53	1.63	6	11	26	10	3	4
43.09	46.05	1.96	3	9	22	14	7	5
43.09	46.33	2.15	3	8	23	12	11	3
43.09	48.51	3.61	0	4	2	10	29	15
43.09	49.08	4.44	0	5	4	10	25	16
43.09	51.86	5.48	0	3	1	7	25	24

续表 2

标准样片 反射比(%)	比较样片 反射比(%)	$\Delta E$	相同 (次)	相似 (次)	微差 (次)	可觉差 (次)	可识别 (次)	大差别 (次)
43.09	52.64	6.05	0	3	0	8	18	31
43.09	53.14	6.34	0	3	2	7	20	28
43.09	54.62	7.21	0	0	0	4	14	42
43.09	56.38	8.23	0	2	0	4	11	43
43.09	57.90	9.07	0	0	0	3	15	42
43.09	58.82	10.01	0	0	0	0	0	60
43.09	59.62	10.44	0	0	0	3	12	45
43.09	42.94	0.13	21	18	15	1	2	3
43.09	42.78	0.21	17	20	17	0	2	4
43.09	42.65	0.30	18	15	20	4	1	2
43.09	42.49	0.41	9	22	21	0	2	6
43.09	42.37	0.49	14	15	23	3	2	3
43.09	42.18	0.62	9	19	30	1	0	1
43.09	42.07	0.70	9	16	25	4	1	5
43.09	41.85	0.85	13	14	29	2	1	1
43.09	41.76	0.91	4	11	30	8	2	5
43.09	41.40	1.16	5	14	23	10	3	5
43.09	40.88	1.52	1	8	23	16	5	7
43.09	40.18	2.02	1	8	20	15	8	8
43.09	38.59	3.17	2	4	10	16	19	9
43.09	37.34	4.09	3	6	5	13	20	13
43.09	35.53	5.46	0	3	1	10	23	23
43.09	34.10	6.58	0	0	0	11	20	29
43.09	33.12	7.36	0	1	0	10	14	35
43.09	32.47	7.90	0	0	0	8	16	36
43.09	31.32	8.93	0	0	0	8	13	39
43.09	30.95	9.17	0	0	0	7	10	43
43.09	29.89	10.06	0	0	0	7	11	42
62.07	62.28	0.29	21	25	14	0	0	0
62.07	62.27	0.33	17	23	19	1	0	0
62.07	62.53	0.45	4	14	29	8	4	1
62.07	62.64	0.53	3	12	29	10	5	1
62.07	61.63	0.72	14	23	21	1	1	0
62.07	61.53	0.86	4	11	28	9	8	0
62.07	63.54	1.51	10	27	21	2	0	0
62.07	65.54	1.91	9	16	23	6	2	4
62.07	62.90	2.87	1	0	6	10	16	27
62.07	69.31	4.24	2	9	5	11	22	11
62.07	71.19	5.48	0	0	0	1	9	59
62.07	72.36	5.99	0	0	0	1	6	55
62.07	74.65	6.95	0	0	0	0	6	54
62.07	75.11	7.13	0	0	0	0	6	54
62.07	76.89	7.88	0	0	0	0	6	54
62.07	77.35	8.11	0	0	0	0	6	54
62.07	79.85	9.09	0	0	0	2	5	53
62.07	80.77	9.51	0	0	0	1	4	55
62.07	84.34	10.87	0	0	0	1	4	55
62.07	61.86	0.11	25	18	16	1	0	0
62.07	61.70	0.25	19	19	19	3	0	0
62.07	61.52	0.33	20	16	21	1	1	1
62.07	61.93	0.39	20	20	16	4	0	0
62.07	62.57	0.51	17	21	17	3	1	1
62.07	61.84	0.61	9	14	24	8	4	1
62.07	61.04	0.68	12	19	24	2	2	1
62.07	61.70	0.75	11	18	23	6	1	1
62.07	60.68	0.79	18	16	21	5	0	0
62.07	60.73	0.90	7	11	22	16	3	1
62.07	60.05	1.05	7	14	31	6	1	1

续表 2

标准样片 反射比(%)	比较样片 反射比(%)	$\Delta E$	相同 (次)	相似 (次)	微差 (次)	可觉差 (次)	可识别 (次)	大差别 (次)
62.07	59.40	1.49	4	19	22	10	3	2
62.07	58.82	1.84	6	10	23	17	4	0
62.07	57.90	3.33	0	0	3	17	20	20
62.07	56.62	4.00	0	0	4	19	17	20
62.07	54.56	4.87	0	0	3	13	19	25
62.07	52.64	5.87	0	0	2	13	13	32
62.07	51.90	6.24	0	0	2	15	16	27
62.07	50.15	7.22	0	0	0	14	17	29
62.07	48.51	8.05	0	0	1	12	14	33
62.07	46.39	9.51	0	0	1	7	10	42
62.07	45.60	10.01	0	0	1	7	11	41

的结果是有意义的。

色差 表面色比色时,样片间的色差所达到的精度能直接影响到实验结果。我们在样片设计中将标准样片和比较样片的级差 $\Delta E$ 值分设为 0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,共 15 个级差。由于工艺条件的制约,该项实验中的实际级差仍有少数未达到设计要求。

白一黑系列是中性灰系,理论上应是中性、无色调、无彩度等特性,只具有明度上的变化,这样在色差辨别时应注意到在同一级比较时 Y 值的下限和上限的不同对实验结果有无影响? 为此,设计时应具备每一级差的比较样片均有高于和低于标准样片 Y 值的两个可比较的系列。对白一黑系列六个明度等级、248 个样片,采用了美国 ACS 公司的精度为 1% 的 CS-5 分光光度计进行了色度测试,其色度值见表 2。

**2.6 色差公式的选择** 表 1 中,国际上各颜色体系对色差值表示方法的不一致,表明了它们用的色差计算公式的不同。我们认为,不同色差公式只是表示的方法不同,同一数量级上的计算结果并无实质上的差别。中国颜色体系的编制原则上确定使用 CIE 1976 ( $L^*A^*B^*$ )的计算公式。一是因为它是国际照明委员会近年来推荐的一个色差计算公式,它能代表表面色的整体色差,使用方便;二是,我国已有不少行业采用它作为行业产品色差计算的标准<sup>[5]</sup>。因此,在我们的实验中标准样片和比较样片之间的色差值以  $\Delta E$  表示。

**2.7 表色色差感觉等级** 比色色差是表示标准样片和比较样片在色空间中的位置关系,即两种颜色的几何位置关系的数学表示。较为常用的是美国国家标准局制定的 NBS 单位。当 $\Delta E = 1$ 时,被称为 1 个 NBS 单位。已有的研究表明,NBS 单位和人对色差的感受有着相互关联,见表 3<sup>[6]</sup>。在本实验中设立了六个感觉等级,即相同、相似、微差、可觉差、可识别差、大差别。六个感觉等级值的区分是以:进行目视评价时,对呈现在同一视场内的二个颜色样片,当被试者认为它们在色貌上完全相同时,判断为“相同”等级。若感觉相同,但又不能肯定是相同时,为“相似”等级。若被试者刚刚能察觉到色样片之间有差别时,称为“微量差”等级,也可为色差辨别阈限值。而对颜色样片之间色差不用仔细辨认就可判断出来时,称为“可觉差”等级。被试者能够明显清晰的区分颜色样片之间的差异,并感觉其差异是比较大时定为“可识别”等级。当被试者不仅能察觉到色样片之间色度差较大,甚至感觉到了不可接受的程度,如色调的变化等,称为“大差别”等级。通过实验研究,

以探索中国人视觉色差辨别特性与 $\Delta E$ 之间的相互关系。

表 3 NBS 单位的色差感觉

NBS单位	色差的感受
0—0.5	痕迹
0.5—1.5	轻微
1.5—3.0	可觉察
3.0—6.0	可识别
6.0—12.0	大
12.0以上	非常大

2.8 实验操作 [实验时光线从垂直方向照射样片,人眼与样片之间夹角为 $45^\circ$ ,两者之间偏离角度不超过 $10^\circ$ 。实验样片为 $3 \times 3$ 厘米,双眼距样片的距离约为40厘米,保持 $10^\circ$ 视场的观察条件。

标准样片置放在灯箱内,相应的比较样片随机放置在标准样片上方。比色时要求观察者逐一地将比较样片和标准样片放在同一视场内的相邻接的位置上进行比色,观察者可将比较样片放置在标准样片左、右、上、下方交替进行比较观察,以此尽量避免由于观察条件微小的差别可能产生的影响。观察者可以反复比对,直到得出满意的感觉等级为止。因每一组所需评价时间不长,一般情况下不会引起观察者视觉上的疲劳。实验中,若观察者感觉到眼睛疲劳时,随时可休息,待恢复后,再继续评价。

### 3 结果和讨论

60名观察者的实验结果见表2。

对结果统计处理时,是以心理物理统计学中的常规处理方法,即将观察者对每个样片选择次数之和超过辨别总数的75%作为级差确定界限。实验统计结果见表4。

表 4 非彩色系的色差感觉值

标准样片反射比(%)	微量差( $\Delta E$ )			可觉察( $\Delta E$ )			可识别( $\Delta E$ )			大差别( $\Delta E$ )		
	上限	下限	平均									
6.61	1.51	0.97	1.24	2.00	0.97	1.49	5.60	4.29	4.95	9.00	5.07	7.04
11.02	1.51	1.00	1.26	1.51	1.00	1.26	5.05	2.06	3.56	8.10	7.98	8.04
20.08	1.32	0.80	1.06	2.37	2.01	2.19	5.12	3.00	4.06	10.02	8.94	9.57
29.58	1.04	1.00	1.02	1.04	1.50	1.27	4.89	4.94	4.92	10.04	8.02	9.03
43.09	1.42	0.85	1.14	2.15	1.52	1.84	2.15	3.17	2.66	10.01	5.46	7.89
62.07	1.91	1.05	1.48	1.91	1.84	1.88	1.97	1.84	1.91	5.48	3.33	4.41

表4中的结果说明,在白-黑系列中中国人眼对表色色差辨别的实验结果的平均值和表3所列出的结果基本上是一致的。其表现为:当标准样片 $Y_{10}$ 为6.61,比较样片 $Y_{10}$ 为6.64,二者之间的 $\Delta E = 0.08$ 时,观察者仍认为标准样片和比较样片是不同的。一般情况下,当 $1.0 < \Delta E < 1.5$ 时观察者感觉到微量的差别。 $\Delta E < 3\text{NBS}$ 时为可觉察, $3.0 < \Delta E < 6.0$ 时,观察者认为二个样片之间不属于同一个数量级。观察者对 $\Delta E > 7.0$ 的比较样片辨别时,则是大差别的感觉量。

表 4 中的结果表明了,无论是高明度、中明度、低明度,人眼辨别的色差值无显著差异。依据此结果,中国颜色体系样品的非彩色系色差值提出单一的技术参数是可行的。

根据实验结果并和国外的有关技术参数比较,我们认为中国颜色体系样品的色差宽容度在非彩色系列中以 $\Delta E < 1.5$ 为宜,它与中国人眼对表色色差辨别阈限值相符。此建议已被采纳,作为 GSB A 26003—94《中国颜色体系样册》中非彩色系色样品的公差值。

在对实验结果作进一步分析时我们还可以看到,表 4 中没有“相同”和“相似”两个感觉级差的统计结果。其原因在于观察者在进行六个明度级、248 块样片比较时,对标准样片和比较样片之间任何微小差别,甚至 $\Delta E = 0.08$ 时都能感觉到有差异。这种现象的产生,我们初步看法不是完全由于比较样片色差较大所致,而是受人们评价时的心理状态影响。我们在另一个实验中验证了这一点,当把标准样片和比较样片之间的色差控制在 $0.1 < \Delta E < 2.0$ 范围内,要求观察者从比较样片中选取和标准样片明度相同的样片时,几乎所有的观察者都感觉到选取很困难,认为呈现在眼前的标准样片和比较样片在明度上几乎是一致的。当然,上述现象的产生也不排除有其它因素的作用,有待于进一步探讨。

对表 4 中的每一个明度级的上限和下限的 $\Delta E$ 比较时,除了三对数值外,其它的下限 $\Delta E$ 值均比上限 $\Delta E$ 值小,本实验的结果虽是采用二者之间的平均值,但对此现象产生的原因还有待进一步探讨。

综上所述我们认为,依据本实验结果提出《中国颜色体系样册》中的样品色度值宽容度不仅符合人眼识别特征,而且现已研制成的《中国颜色体系样册》的实践也表明了它的合理性和可行性。

#### 参 考 文 献

- 1 Munsell Book of Color PR089-A
- 2 AIC MIDTRM MEETING Forsius, 1983, F28, p119—132.
- 3 SWEDISH STANDARD SS 01 9102—1979 COLOR NATION SYSTEM
- 4 日本工业标准 JIS Z 8721—1977
- 5 GB 8424-87 纺织品颜色和色差测量方法 标准出版社 1987 年
- 6 林仲贤,孙秀如. 视觉及测色应用 北京: 科学出版社. 1987 年,228—229.

AN EXPERIMENTAL STUDY OF DISCRIMINATION OF SURFACE  
COLOR DIFFERENCES ON ACHROMATIC COLOR SERIES BY  
THE CHINESE EYE

Sun Xiuru Lin Zhiding Zhang Jiaying

Lin Zhongxian Jing Qicheng

*(Institute of Psychology, Academia Sinica)*

**Abstract**

This paper offers the results of an experimental study of discrimination of surface color differences on the achromatic color series by the Chinese eye. It showed that, changes of achromatic color brightness had no significant effect on the discrimination of color differences of people. The values of color differences only varied with changes of the grade of visual evaluation. These results were consistent with those of other countries. On the basis of this research, a color tolerances of achromatic color series for the Chinese Color System was established, and also approved by the National Color Standardisation Committee.

**Key words** eyes, discrimination, color differences.