

中国人肤色光谱反射特性及肤色板*

林仲贤 彭瑞祥 孙秀如

中国科学院心理研究所

李 亚 璋

国家建委建筑科学研究院物理所

前 言

对人类肤色光谱反射特性的研究早在 1926 年 C. Sheard 就进行过⁽¹⁾, 其后 1939 年 E. A. Edwards 和 S. Q. Duntley 又系统地对不同人种肤色的光谱反射特性进行了测定⁽²⁾。1948 年 G. B. Buck 和 H. C. Froelich 曾对美国白人的脸部肤色进行较为系统的光谱反射特性的测定, 并与黄种人(日本人)及黑人的结果进行了比较⁽³⁾。对人类肤色特性的研究除具有人类学、人种学、生物学上的意义外, 在实用方面, 由于人类肤色是彩色电视、电影、摄影、印刷、照明等各方面作为色再现评价的重要试验色, 在评价彩色摄象机的色再现及光源的显色性能时, 均需要人类肤色光谱反射率的数值, 因此, 近年来各国进行这方面的研究颇多。日本色彩研究所在对其本国人肤色分光测定基础上, 研制了一套标准肤色票, 已应用于测色实践⁽⁴⁾。有关中国人面部光谱反射特性的测定, 未见过专门报导。为此, 我们在对中国人肤色色度测定的基础上⁽⁵⁾, 进一步对中国人面部肤色进行取样分光测定, 并研制我国人肤色板。此方面的研究具有实际的意义。

方 法

被测人数共 8 人, 男女各 4 人, 年龄从 19 岁到 47 岁, 身体健康。在这 8 名被测者中, 既有长期室外作业经受太阳光的照射面部肤色较黑的, 也有长期在室内作业面部肤色较白的, 同时也有室内外作业兼有的, 因此取样具有一定的代表性。

进行分光测定的仪器是一台 SP500 型分光光度计。测量部位是左面颊, 面积为 $7 \times 10\text{mm}$ 。测定人数 7 人(男 3 女 4)。另外还采用一台 RC330 型自动分光光度计测定 1 人(男性), 测量部位左面颊, 面积为 $6 \times 17\text{mm}$ 。测试是在暗室条件进行。被测者将左面颊紧贴在仪器的测试孔上, 400—700nm 每隔 10nm 依次逐个波段进行反射率的测定。为避免由刺激产生的系统误差的影响, 一些被测者系从 400nm 开始依次到 700nm 为止, 而另一些被测者则系从 700nm 开始依次到 400nm 为止。将实测的结果分别按照 C 光源和 D65 光源计算色度值, 并根据各波长的反射系数描绘出光谱反射曲线。

* 纪桂萍同志参加部分工作

根据对中国人皮肤色实测的数值，在沈阳陶瓷厂的协助下研制我国人标准肤色板，并用 RC330 分光光度计测定了其光谱反射率及色变值。

结 果 分 析

1. 中国成人面部平均肤色光谱反射曲线

表 1 是 8 名被测者的面部肤色平均光谱反射率，图 1 是其平均肤色光谱反射曲线。为使用方便起见，在表 1 中，我们分别按 1931 年 CIE x, y 表色系列出 C 光源和 D65 光源下的色度座标值 Y 及值，还按 1960 年 CIE—UCS 表色系列出它的 u, v 值以供参考对照。

表 1 中国成人面部平均肤色光谱反射率 (ρ)

波长 (λ) nm	光谱反射率 (ρ)	波长 (λ) nm	光谱反射率 (ρ)	波长 (λ) nm	光谱反射率 (ρ)	色度座标值及反射率 (Y 值) %
400	0.1185	510	0.2030	620	0.4035	C 光源
410	0.1171	520	0.2070	630	0.4866	$x=0.3890$
420	0.1161	530	0.2012	640	0.4768	$y=0.3450$
430	0.1248	540	0.1986	650	0.4806	$u=0.2442$
440	0.1390	550	0.1984	660	0.4901	$v=0.3256$
450	0.1513	560	0.2076	670	0.5035	Y 值=23.62
460	0.1625	570	0.2096	680	0.5029	D65 光源
470	0.1683	580	0.2064	690	0.5159	$x=0.3907$
480	0.1759	590	0.2346	700	0.5160	$y=0.3558$
490	0.1853	600	0.2990			$u=0.2408$
500	0.1956	610	0.3464			$v=0.3290$
						Y 值=23.56

表 1 的结果与我们用自动测色仪对 612 人取得的平均色度值是大致接近的。612 人的平均结果在 C 光源下 $x=0.3892$, $y=0.3500$, 反射率 % = 23.57。因此，图 1 这条平均肤色光谱反射曲线可以代表我国成人面部平均肤色的情况。

2. 中国成人不同性别面部肤色光谱反射曲线

图 2 中的两条光谱反射曲线分别系 4 名男性（下线）和 4 名女性的（上线）面部皮肤平均光谱反射曲线。表 2 是其光谱反射率的数值。

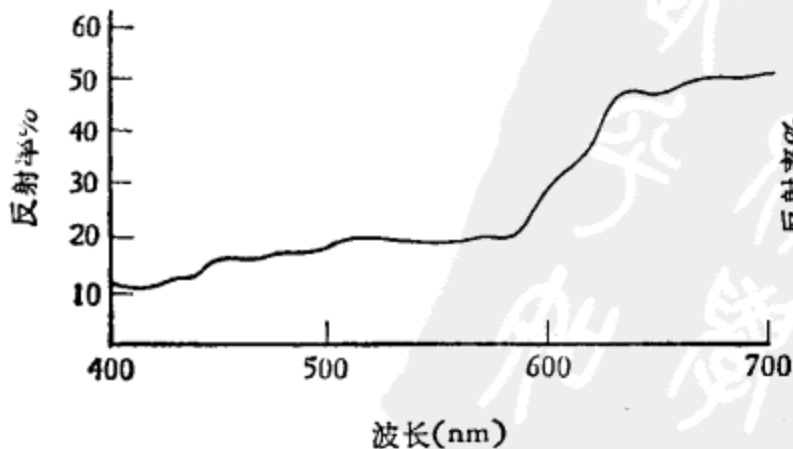


图 1 中国成人面部平均肤色光谱反射曲线

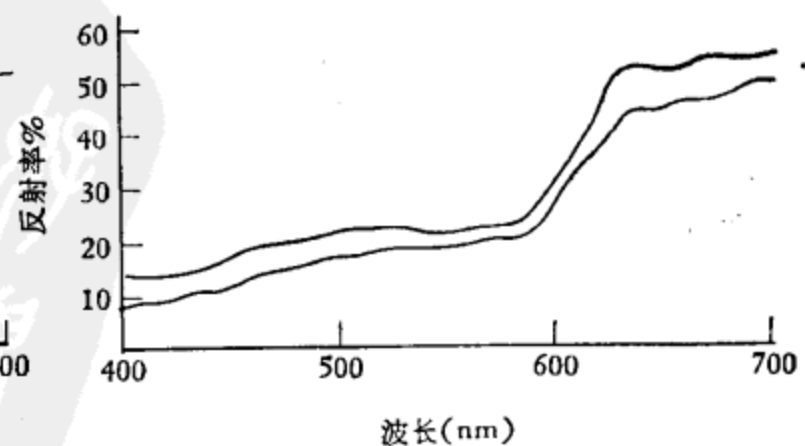


图 2 不同性别面部肤色光谱反射曲线

表 2 中国成人男性和女性面部光谱反射率(ρ)

波长(λ) (nm)	男 性 (ρ)	女 性 (ρ)	波长(λ) (nm)	男 性 (ρ)	女 性 (ρ)	色度座标及反射率 (Y值) %
400	0.0884	0.1486	560	0.1909	0.2243	男 性
410	0.0886	0.1457	570	0.1930	0.2262	C光源
420	0.0911	0.1412	580	0.1909	0.2218	$x=0.3961$ $u=0.2466$
430	0.1001	0.1496	590	0.2221	0.2401	$y=0.3513$ $v=0.3281$
440	0.1185	0.1596	600	0.2867	0.3114	$Y=21.68$
450	0.1285	0.1741	610	0.3284	0.3645	D65光源
460	0.1422	0.1829	620	0.3655	0.4415	$x=0.4011$ $u=0.2443$
470	0.1484	0.1882	630	0.4413	0.5320	$y=0.3641$ $v=0.3326$
480	0.1575	0.1943	640	0.4373	0.5162	$Y=21.62$
490	0.1656	0.2050	650	0.4491	0.5121	女 性
500	0.1735	0.2177	660	0.4586	0.5215	C光源
510	0.1835	0.2225	670	0.4691	0.5380	$x=0.3832$ $u=0.2422$
520	0.1844	0.2295	680	0.4780	0.5277	$y=0.3411$ $v=0.3234$
530	0.1802	0.2222	690	0.4983	0.5336	$Y=25.56$
540	0.1811	0.2160	700	0.4967	0.5353	D65光源
550	0.1812	0.2157				$x=0.3851$ $u=0.2389$
						$y=0.3513$ $v=0.3270$
						$Y=25.48$

从图 2 和表 2 的结果来看,男性和女性的光谱反射曲线是有差别的,男性的反射率较低于女性,也就是说女性的面部肤色较白亮些,而男性较为黄黑些。这种情况和 G. B. Buck 等人对白种人的研究结果是相似的。

中国男性和女性的面部光谱反射特性的色度值是很接近于我们用自动测色仪对男女各 306 人实测的色度的平均值的。306 名男性面部实测的平均色度值为 $x=0.3926$, $y=0.3510$, $Y=21.92$; 306 名女性为 $x=0.3858$, $y=0.3489$, $Y=25.22$ 。因此,上述这两条光谱反射曲线可代表我国不同性别的面部平均肤色的情况。

3. 中国成人白肤色和黑肤色光谱反射曲线

这里所列出的白肤色光谱反射曲线系 1 名女性(室内作业者)的实测结果;黑肤色的光谱反射曲线系 1 名男性青年农民的结果。图 3 是其光谱反射曲线,表 3 是这两者的光谱反射率的数值。

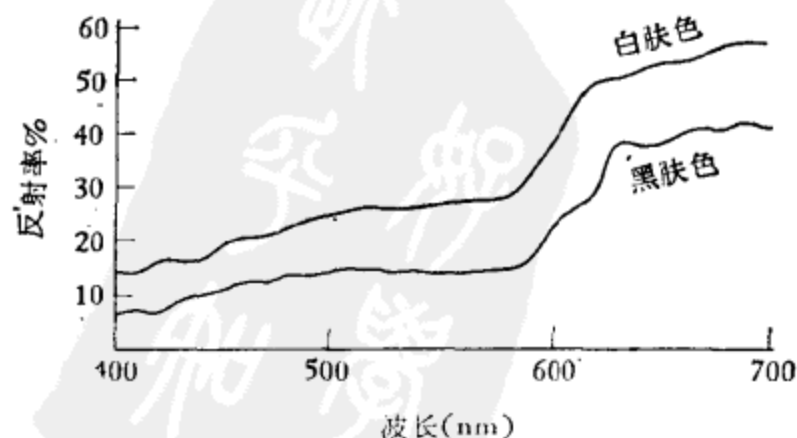


图 3 中国人白肤色和黑肤色光谱反射曲线

表 3 中国成人白肤色和黑肤色光谱反射率(ρ)

波长(λ) (nm)	白肤色 (ρ)	黑肤色 (ρ)	波长(λ) (nm)	白肤色 (ρ)	黑肤色 (ρ)	色度坐标及反射率 (Y值) %
400	0.1513	0.0656	560	0.2670	0.1494	白肤色 C光源
410	0.1332	0.0736	570	0.2773	0.1422	
420	0.1521	0.0670	580	0.2613	0.1460	x=0.3807 u=0.2358
430	0.1581	0.0956	590	0.2973	0.1654	y=0.3516 v=0.3265
440	0.1648	0.1042	600	0.2684	0.2118	Y=29.82
450	0.1926	0.1102	610	0.4370	0.2556	D65光源
460	0.2054	0.1217	620	0.5046	0.2914	x=0.3823 u=0.2324
470	0.2079	0.1260	630	0.4971	0.3985	y=0.3619 v=0.3301
480	0.2230	0.1425	640	0.5099	0.3599	Y=29.78
490	0.2354	0.1437	650	0.5384	0.3744	黑肤色 C光源
500	0.2515	0.1536	660	0.5339	0.3943	x=0.3889 u=0.2454
510	0.2620	0.1554	670	0.5519	0.4167	y=0.3430 v=0.3246
520	0.2749	0.1525	680	0.5528	0.4083	Y=17.31
530	0.2689	0.1460	690	0.5715	0.4249	D65光源
540	0.2589	0.1467	700	0.5590	0.4080	x=0.3906 u=0.2419
550	0.2600	0.1436				y=0.3532 v=0.3281
						Y=17.26

从图 3 和表 3 可见，白肤色和黑肤色在光谱反射率上有较大的差异，这是由于个体天然的黑色素的含量差别以及长期经受太阳光特别是紫外照射所造成的。看来这种差别只局限在同一人种的一定范围内变化。中国人的晒黑皮肤的反射率即使由于经受太阳光的长期照射而明显下降，甚至低至12%，但也比典型的黑种人的皮肤反射率高得多。

4. 中国青年女性面部肤色光谱反射曲线

下面所示的系两名青年女工人面部肤色的光谱反射实测的结果，她们的年龄分别为20岁和22岁。表 4 是这两名青年女工人的光谱反射率的平均值，图 4 是其平均光谱反射曲线。

表 4 中国青年女性面部肤色光谱反射率

波长(λ) nm	光谱反射率 (ρ)	波长(λ) nm	光谱反射率 (ρ)	波长(λ) nm	光谱反射率 (ρ)	色度坐标值及反射率 (Y值) %
400	0.1501	510	0.1937	620	0.4191	C光源
410	0.1438	520	0.1943	630	0.5035	
420	0.1393	530	0.1868	640	0.4806	x=0.3853 u=0.2483
430	0.1537	540	0.1870	650	0.4759	y=0.3314 v=0.3203
440	0.1547	550	0.1823	660	0.4880	Y值=22.44
450	0.1645	560	0.1901	670	0.5148	D65光源
460	0.1628	570	0.1885	680	0.4988	x=0.3875 u=0.2449
470	0.1692	580	0.1916	690	0.5045	y=0.3419 v=0.3241
480	0.1676	590	0.2203	700	0.5133	Y值=22.37
490	0.1807	600	0.2825			
500	0.1898	610	0.3296			

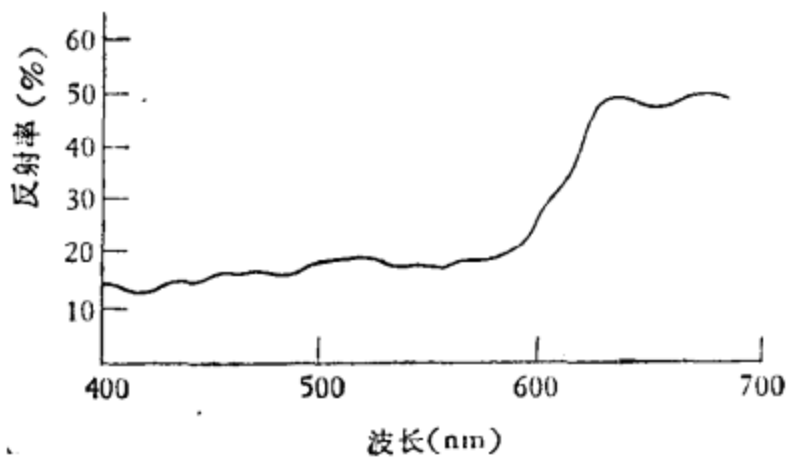


图 4 中国青年女性面部肤色光谱反射曲线

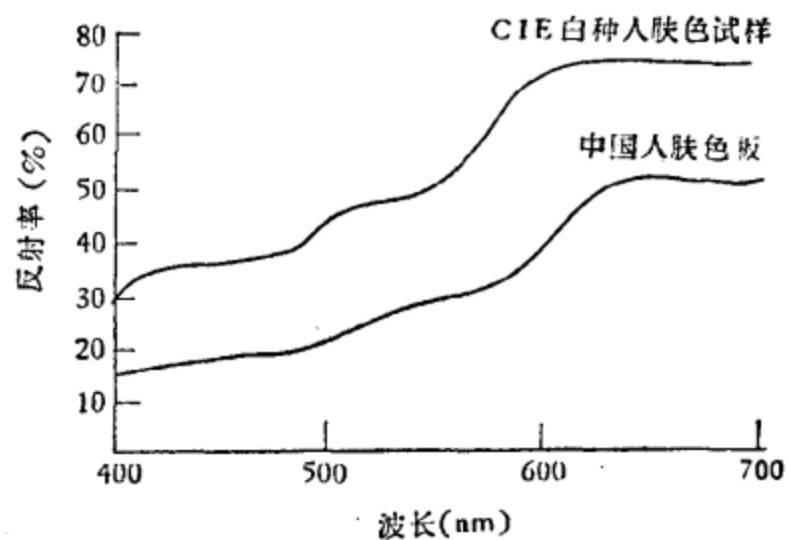
5. 中国人标准肤色板

根据对中国人肤色实测的数值,在沈阳陶瓷厂的协助下,研制了我国人肤色板。色板大小为 $7.5 \times 7.5 \text{cm}$ 。下表 5 是其光谱反射率数值,图 5 是光谱反射曲线根据测得的 $\rho(\lambda)$ 曲线,计算得出的色板。色度座标值 $x=0.3861$, $y=0.3546$, $Y=31.8\%$,落在我国人的典型肤色域范围内。为比较起见,在图 5 中还列出 CIE 白种人肤色试验色样的光谱曲线。

从图 5 可看出,两者的走向是非常相似,只是白人在上,中国人在下。白人反射率明显高于中国人的反射率。中国人肤色板可用于测色及有关定标方面。

表 5 中国人标准肤色板光谱反射率

波长(λ) nm	光谱 反射率 (ρ)	波长(λ) nm	光谱 反射率 (ρ)	色度座标值及反射率 (Y 值) %
400	0.1669	560	0.3012	C光源 $x=0.3861$ $u=0.2382$ $y=0.3546$ $v=0.3281$ Y 值=31.8
410	0.1761	570	0.3170	
420	0.1771	580	0.3383	
430	0.1847	590	0.3666	
440	0.1911	600	0.4028	
450	0.1969	610	0.4439	
460	0.2001	620	0.4846	
470	0.2000	630	0.5168	
480	0.2047	640	0.5345	
490	0.2138	650	0.5280	
500	0.2273	660	0.5168	D65光源 $x=0.3927$ $u=0.2364$ $y=0.3691$ $v=0.3333$ Y 值=31.7
510	0.2421	670	0.5182	
520	0.2565	680	0.5187	
530	0.2690	690	0.5091	
540	0.2795	700	0.5164	
550	0.2895			

图 5 中国人肤色板光谱曲线与 CIE 白种人肤色试样光谱曲线比较 (白人肤色试样 $x=0.3718$, $y=0.3526$, $Y=57.26\%$)

讨 论

作为评价彩色摄影机光学分析性能及评价彩色还原、光源显色性等方面所要求的人面部肤色光谱反射曲线的数值,不一定需要大批实测的数据。问题在于怎样取样及采用什么样的肤色光谱反射曲线认为是适当的。美国柯达公司(kodak)1957年为了对彩色胶片还原的质量作定量分析而制定了一套标准色板,其中白人标准肤色板的色度数据,就是根据 G. B. Buck 等人(1948)对美国 103 人的实测平均光谱反射曲线的数值而定的(色度值 $x=0.374$, $y=0.338$, $Y=32.1$)⁽⁶⁾。CIE 为计算光源显色指数而推荐的 14 块样本色中,第 13 块就是白人面部肤色的样本色 (5YR8/4)⁽⁷⁾。这块样本色的光谱反射曲线则是根据 G. B. Buck 等人对白人实测的平均光谱反射曲线给以一定数值加权综合而成的。日本有关部门在进行光源显色性的评价时,则增加一块本国女性面部肤色作为计算光源显色指数的样本色 (1YR6/4)⁽⁸⁾,根据其光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 计算得出的色度值为

$x = 0.3774, y = 0.3441, Y = 32.71$ 。

对彩色再现评价所采用的试验色样应立足于本国的情况。1965年对光源显色性采用的肤色试验色样，是根据白种人肤色分光测定的结果。我国人是属亚洲黄色人种，为进行光源显色性的评价，计算光源显色指数，完全根据白人的肤色样的数值很难认为是合适的，因此应采用我国人的实测的肤色样的数值为评价标准。日本的照明部门也基于这种原因而增加一块其本国女性肤色试样作为计算光源显色指数的样本色。

对彩色再现评价所采用的试验色样，究竟是采用自然真实肤色还是采用在自然肤色基础上加以化妆的肤色为合适？是采用单一女性肤色合适还是应采用既包括女性和男性又包括较黑肤和较白肤的几种肤色为合适？这是值得研究的问题。对于前一个问题可以这样考虑，当把肤色作为评价彩色摄影机光学分析性能时，一般应采用自然真实肤色为依据。（加拿大广播公司制定的典型的白人肤色试验色卡，是根据 Edwards 等人（1939年）对 3 名女性面部实测的结果而制定的⁽⁹⁾，是一种自然肤色。英国广播公司最近提出的 BBC 第 61 号试验色卡⁽¹⁰⁾，虽然用的是彩色印刷的人像，但这图象的面部肤色的光谱反射特性，却是与真实的面部皮肤的光谱反射特性很相似的。当把肤色作为评价光源显色性时，除了采用人们日常生活中习惯了的自然真实肤色为试验色样外，为了增强照明艺术效果，试验色样的光谱反射特性也可不必与真实面部皮肤的光谱反射特性完全一样。例如上述 CIE 所推荐的第 13 块肤色样本色（如上图 5 所示）就是自然肤色和化妆肤色的结合。至于后一个问题，近年来也有人提出了一些看法，认为过去许多国家多采用女性肤色为试验色样不完全适当，而提出应用男性肤色为试验色样，因为在电视中，男性出现甚至比女性还要多，而且男性面部具有女性所不常出现的特殊纹理和色素⁽¹¹⁾。看来作为评价彩色再现质量的肤色试验色样除女性肤色试样外另加男性的肤色试样是合理的。

小 结

采用分光光度计对 8 名中国成人（男女各 4 人）进行了面部肤色光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 的取样测定，分别得出中国人面部平均肤色光谱反射曲线；中国男性和女性面部光谱反射曲线；较白肤色和较黑肤色的光谱反射曲线及青年女性面部光谱反射曲线。

根据对中国人肤色的实测数值制成中国人肤色板。上述的这些类型的皮肤光谱反射曲线的数值及中国人肤色板，对评价彩电摄影机光学性能和光源的显色性及颜色测量和定标方面都具有一定实际意义。

参 考 文 献

- (1) Sheard C. Science, 64, July 70—721926.
- (2) Edwards E. A. and Duntley S. Q. Am J. of Anat Vol. 65, No.1 1939.
- (3) Buck G. B. and Froelich N. C. Illum Engng., Vol. 43, No.1, 27—47, 1948.
- (4) 日本色彩研究所：皮肤色票，1967年
- (5) 林仲贤、彭端祥、孙秀如、纪桂萍：中国成人皮肤色度特性的测定，科学通报，1979年，第10期
- (6) Breneman E. J. photo, Science and Engng, Vol.1, No.2 74—78, 1957.
- 【7】 Judd D. B. Illum. Engng, oct. 593—598, 1967.

- (8) 东尧: 照明学会杂志, 昭和40年, 49卷, 10号, 31—49页
(9) 彭端祥、林仲贤、孙秀如, 感光材料, 1977年, 60—72页
(10) Taylor E. W. and Lent S. T. T. SMPTE Vol.81 No.2. 76—78. 1978
(11) Hunt R. W. British kinemato graphy Sound and Television, Vol.54, No.3. 60—69. 1972

SPECTRAL REFLECTANCE OF SKIN OF CHINESE ADULTS AND A SKIN—COLOR PLATE

LIN ZHENG-XIAN PENG RUI-XIANG SUN XIU-YU
LI YA-CHANG

The spectral reflectance of skin of 8 chinese male and female adults, aged from 19 to 49, were measured by a spectrophotometer, tristimulus values (X. Y. Z.) and chromaticity coordinates (x. y.) were obtained. A weighted average spectral reflectance curve is established for chinese adults. Sex, age and professional variables are discussed. Average spectral reflectance curves of skin of 4 men, 4 women and 2 young women, also typical spectral reflectance curves for lighter and darker chinese individuals are given.

Based on the chromaticity and reflectance of skin of chinese adults, a skin—color plate of porcelain, 7.5×7.5cm in size was manufactured. The spectral reflectance curves, as mentioned above, and the skin—color plate are to be used as standards in color television, photographic, lithographic and lighting industries.



中国人眼光谱相对视亮度函数的研究*

赫葆源 马谋超 陈永明 许宗惠
纪桂萍 张嘉棠 张增慧 汪慧丽

中国科学院心理研究所

问 题

人眼对光谱各波长的灵敏度,是产生一种阈限反应或主观相等亮度所需要的辐射能量的倒数。它们原称光谱视亮度,现在我们称之为光谱相对视亮度^(5,1)。即使是等能光谱,各波长引起的相对视亮度也很不相同。具体测量时除绝对阈限法外,一般常用匹配法:使人眼将不同波长的光谱色光分别和一个固定强度的白色标准光作亮度匹配,达到匹配所需的光能取其倒数,即相对视亮度。以各波长中的视亮度相对于标定为 1 的视亮度为最大值,所获得的数值即各波长辐射的相对视亮度函数 $V(\lambda)$, 据此绘制的曲线即光谱视亮度曲线。人眼视觉按明度水平不同有明视觉和暗视觉,因此,相对视亮度函数也分为这两种,前者称为 $V(\lambda)$, 后者为 $V'(\lambda)$ 。两者各自的最大明度的波长有一定的位移,这就是朴金耶现象。

相对视亮度函数在有关光度学、色度学的实践中应用很广。例如对于发射连续光谱的光源,亮度计算公式为⁽⁶⁾

$$L = K_m \int V(\lambda) N(\lambda) d(\lambda)$$

这里 K_m 是决定于所选单位的一个常数, $N(\lambda)$ 是光源的光谱辐射。原则上,积分的极限是零和无限大,但当 $V(\lambda) = 0$, 即在可见光谱以外时,我们可以把这两个极限作为可见光谱的极限。光通量的度量公式为⁽⁷⁾

$$\phi V(\lambda) = K_m \int V(\lambda) \phi_{\theta}(\lambda) d(\lambda)$$

这里 $\phi V(\lambda)$ 为光通量, $\phi_{\theta}(\lambda)$ 为辐射通量, $K_m = 680$ 流明/瓦特。又如关于一个表面所显示的亮度,如我们称 L 为有光照明的一個给定表面的亮度或刺激效应,则可推导出 L 不仅取决于光源的辐照度分布 $H(\lambda)$ 和该表面的反射分布 $R(\lambda)$, 而且还依赖于人眼对被反射光的波长范围的相对视亮度。这关系可用下列公式表示⁽⁸⁾

$$L = H(\lambda)R(\lambda)V(\lambda)$$

* 本研究承我院物理研究所三室初贵荫等同志, 计量研究院光学室, 建筑科学院物理研究所, 电光源研究所等协助安装、调试、借用、测量、标定仪器; 中国人民解放军 80804 部队, 某警卫部队, 我院科仪厂, 东升人民公社大钟寺第九生产队等单位选派被试人员, 特致谢意!
光谱相对视亮度函数在光度学术语中通常称为相对光谱光效率 (relative spectral luminous efficiency)