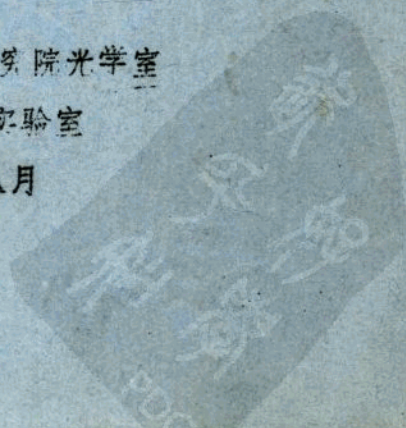


申 光 源 测 量

(短 训 班 教 材)



中国计量科学研究院光学室
复旦大学申光源实验室
一九七六年八月



第一章 基本概念与单位

§1 基本概念

§2 常用的量和单位

第二章 光度测量的原理和方法

§1 距离平方反比定律

§2 照度的余弦法则

§3 朗伯定律

§4 光度测量的基本方法

§5 硒光电池的特性

§6 硒光电池光谱灵敏度修正

第三章 光强度的测量

§1 光度基准及量值传递

§2 光强度标准灯

§3 光度测量装置

§4 光强度的测量方法

第四章 光照度的测量

§1 光照度的计算

§2 光照度计及其应用

§3 光照度计的检定

第五章 光通量的测量

§1 根据照度的测量确定光通量的几种方法

§2 分布光度计

§3 用积分球测量光通量

§4 光通量标准灯

§5 从白炽灯光通量标准到荧光灯、高压水银灯光通量标准的过渡

§6 光源发光效率的计算

第六章 光亮度的测量

§1 光照度法

§2 成像法

§3 根据光照度和总反射系数确定朗伯反射表面的光亮度

§4 光亮度计

§5 光亮度计的标定

第七章 单色仪的分光、色散和定标

§1 单色仪的分光和结构

§2 单色仪出射光的波长范围

§3 单色仪的对光

§4 单色仪的定标

§5 单色仪色散率的测量

第八章 光源光谱能量分布的测量

§1. 分光能量测量用标准光源

§2. 探测器及其特性

一、探测器的分类及一般特性

二、光电管和光电倍增管

三、光导管（光敏电阻）

四、光敏二极管

§3 光申法测量光源的光谱能量分布

- 一、光源相对光谱能量分布的测量
- 二、光源绝对光谱能量分布的测量

第九章 光源的色温及传递系数的测量

§1 色温和相关色温

§2 色温和相关色温的测量

- 一、双色比法测量色温
- 二、色温计
- 三、由光谱能量分布曲线求色温或相关色温

§3 光源传色系数的计算

第一章 基本概念与计量单位

§1. 基本概念

光，是每个视觉正常的人几乎每天都能感觉到的，比如太阳光，燃烧发出的光，以及各种人造光源——白炽灯、荧光灯等等。但是，无论太阳也好，电光源也好，除了发出我们眼睛能感觉的光以外，还发出人的眼睛感觉不到的辐射。眼睛所能感觉的光叫可见光，它的波长约在380—780毫微米之间；比380毫微米更短，直到1毫微米左右的辐射叫紫外线；比780毫微米更长的，直到1毫米左右的辐射叫红外线。红外线、紫外线和可见光统称为光学辐射。红外线和紫外线的光学性质，实验证明和可见光一样。比紫外线的波长还短的叫核子辐射，比红外线的波长还长的叫无线电波。光学辐射在电磁波谱中的位置如图1—1所示。光学辐射各区域波长范围如表1—1所示。

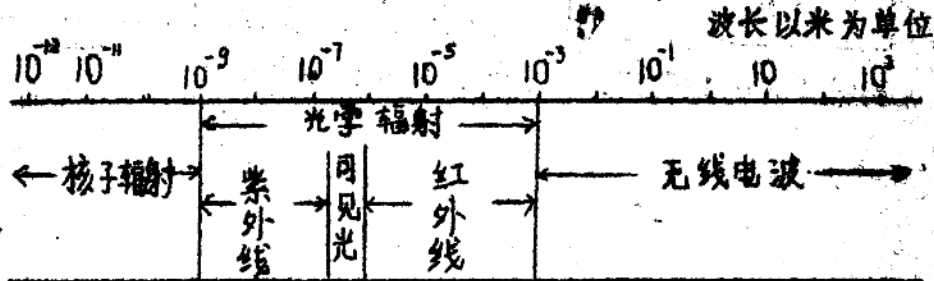


图1—1 光学辐射在电磁波谱中的位置

即使在可见光谱范围内，人的眼睛对不同波长的光的敏感程度也是不相同的。也就是说，人眼对能量相同，波长不同的光所感觉到的明暗程度是不相同的。假设有一个红灯泡和一个绿灯泡，它们的辐射通量相同，但人们看起来绿的要比红的亮些。人眼对波长约为555毫米的单色光最灵敏，而越远离这个波长越不灵

表 1—1 光学辐射各区域波长范围

区域名称		波长范围	单位
紫外区	远紫外	100-280	毫微米 (nm)
	中紫外	280-315	
	近紫外	315-380	
可见光区	紫光	380-424	毫微米 (nm)
	兰光	424-465	
	青光	465-492	
	绿光	492-565	
	黄色	565-595	
	橙光	595-604	
红外区	近红外	0.78-1.4	微米 (μ)
	中红外	1.4-3	
	远红外	3-1000	

(注) 1米 = 10³ 毫米 = 10⁶ 微米 = 10⁹ 毫微米

短，到了380~780毫微米之外，则根本看不见了。每个人眼睛之间的光谱特性也不完全相同。为了测光的准确和统一起见，1924年国际照明委员会（简称C.I.E）承认了平均人眼“光谱光效率”的实验数据。“光谱光效率”又称为“视见函数”。“光谱光效率”是这样定义的：在特殊光度条件下，引起人眼强度感觉相等的两个不同波长的辐通量之比，一个 λ_m ，另一个是 λ ，且把 λ_m 选在最大比值等于1处。符号为 $V(\lambda)$ 的，是1933年国际计量委员会采用的光谱光效率。它是正常人眼适应于几坎德拉每平方米以上光亮度时的视觉特性曲线。这时，人眼视网膜的圆锥体细胞起主要作用。符号为 $V'(\lambda)$ 的，是在1951年C.I.E暂时采用为青年观察者的光谱光效率。它是正常人眼在适应于1/100坎德拉每平方米以下光亮度时的视觉特性曲线。这时，视网膜的圆柱体细胞起主要作用，已经区分不出光谱的颜色了。 $V(\lambda)$ 和 $V'(\lambda)$ 的曲线绘在图1-2中，它们的数值列在表1-2中。

在实际应用中，我们应根据所测对象的光亮度水平，选取合适的光谱光效率来修正物理光度计。修正后的光度计目视光度计的测量结果才会一致。

把波长为 λ 的光通量与对应的辐通量之商定义为光谱效力（过去叫光功当量），即

$$K(\lambda) = \frac{\phi_{光\lambda}}{\phi_{辐\lambda}} = \frac{d\phi_{光}}{d\lambda} \bigg/ \frac{d\phi_{辐}}{d\lambda} = K_m \cdot V(\lambda)$$

..... (1-1)

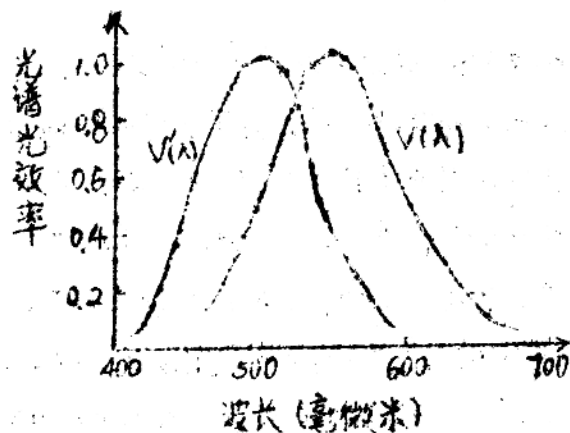


图1-2 明视觉 $V(\lambda)$ 和暗视觉 $V'(\lambda)$

K_m 称为最大光谱光效力。它是把辐射和光联系起来的一个重要参数。对于明视觉, $K_m \approx 680$ 流明/瓦 (按国际实用温标 IPTS-68 的最新测量平均值。对于暗视觉, $K_m \approx 1725$ 流明/瓦。

积分(1)式的右边项, 就得到

$$\Phi_{\text{光}} = K_m \int_{380}^{780} \Phi_{\text{辐}} \lambda V(\lambda) d\lambda \dots (1-2)$$

由上式可见, 当 K_m 确定之后, 光度量和辐射度量之间即可进行准确的换算。因此, 探讨光度和辐射度基准统一, 乃是光学辐射测量工作者共同关注的问题。

表 1—2 CIE 标准光度观察者的光谱光

λ (毫微米)	明视觉 V(λ)	暗视觉 V'(λ)
380	0.0000	0.000589
390	0.0001	0.002209
400	0.0004	0.00929
410	0.0012	0.03484
420	0.0040	0.0966
430	0.0116	0.1988
440	0.023	0.3281
450	0.038	0.455
460	0.060	0.567
470	0.091	0.676
480	0.139	0.793
490	0.208	0.904
500	0.323	0.982
510	0.503	0.977
520	0.710	0.935
530	0.862	0.811
540	0.954	0.650
550	0.995	0.481
560	0.995	0.3288
570	0.952	0.2076
580	0.870	0.1212
590	0.757	0.0655
600	0.631	0.03315

610	0.503	0.01593
620	0.381	0.00737
630	0.265	0.003335
640	0.175	0.001497
650	0.107	0.000677
660	0.065	0.0003129
670	0.032	0.0001480
680	0.017	0.0000715
690	0.0082	0.00003533
700	0.0041	0.00001780
710	0.0021	0.00000914
720	0.00105	0.00000478
730	0.00052	0.000002546
740	0.00025	0.000001379
750	0.00012	0.000000760
760	0.00006	0.000000425
770	0.00003	0.000000241
780	0.000015	0.000000139

§2. 常用的量和单位

大家知道，物体的质量是用“千克”为单位来度量的；光和辐射的强度又用什么单位来度量呢？以能量为单位评价的辐射量（如辐亮度、辐照度等）定义为纯物理量；由标准光度观察者评价的辐射量（如光亮度、光照度等）定义为光度量。所以，人们把辐射量的测量技术称为辐射度学，把光度量的测量技术称为光

度学。

我们采用相同的主符号来表示辐射度量度和光度量。在物理量的场合加脚标 e ，而在光度量的场合加脚标 v 来区别，在不致于混淆时，脚标可以取消。

辐射量——以辐射形式发射、传输或接收的能量。符号 Q_e ，
单位：焦耳（J）。

辐射通量（功率）——以辐射形式发射、传输或接收的功率。
符号： ϕ_e （暂用 E_e ），P，

$$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (1-3)$$

单位：瓦特（W）。

辐射强度——点辐射源在给定方向上，单位立体角内发出的辐射通量。符号： I_e ，

$$I_e = \frac{d\phi_e}{d\omega} \quad (1-4)$$

单位：瓦特每球面度（W·Sr⁻¹）

辐射亮度——扩展辐射源在单位立体角、单位投影面积内发出的辐射通量。对于非自发光表面也存在类似的定义。符号： L_e
（暂用 B_e ）

$$L_e = \frac{d^2\phi_e}{d\omega \cdot dA \cos\theta} = \frac{dI_e}{dA \cos\theta} \quad (1-5)$$

$\cos\theta$ 中的 θ 角是面元 dA 的法线和观测方向之间的夹角。假设离开面元 dA 单位立体角的总通量 $d\phi$ 比例于 $\cos\theta$ ，就是说这个表面是“朗伯”型的，或者是完全漫射表面。所以完全漫射表面的亮度与观察方向无关。辐射亮度的单位：瓦特每球面度一平方米

($W \cdot Sr^{-1} \cdot m^{-2}$)。

辐照度——投射在单位面积上的辐通量。符号： E_e 。

$$E_e = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (1-6)$$

单位：瓦特每平方米 ($W \cdot m^{-2}$)。

曝辐量——接受到的辐能量的面密度，或者是辐照度及其时程之积。符号： H_e 。

$$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e dt \quad (1-7)$$

单位：焦耳每平方米 ($J \cdot m^{-2}$)。

出辐度 (辐射出射度)——离开表面单位面积上的辐通量。

符号： M_e 。

$$M_e = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (1-8)$$

单位：瓦特每平方米 ($W \cdot m^{-2}$)。

(辐射度量) 光谱密度——在给定波长附近，无穷小范围的辐射度量 X_e 与该波长范围之商。例如：辐亮度光谱密度，也叫做光谱辐亮度。可以定义为：单位立体角，单位投影面积和单位波长间隔从辐射源发出的辐通量。符号： L_e, λ 。单位：瓦特每球面度—平方米—毫微米 ($W \cdot Sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$)。

表 1-3 量和单位 a、辐射度量

量的名称	量的符号	单位名称	单位的代号
辐射量	Q_e	焦耳	J
辐射量(功率)	$\phi_e (E_e)$	瓦特	W
光谱光效力	$K(\lambda)$	流明每瓦特	lmW^{-1}
辐强度	I_e	瓦特每球面度	$W \cdot Sr^{-1}$
辐亮度	$L_e (E_e)$	瓦特每平方米一球面度	$W \cdot m^{-2} \cdot Sr^{-1}$
辐照度	E_e	瓦特每平方米	$W \cdot m^{-2}$
出辐度(辐射 出射度)	M_e	瓦特每平方米	$W \cdot m^{-2}$
曝辐量	H_e	焦耳每平方米	$J \cdot m^{-2}$
(辐射量)光 谱密度	$X_{e, \lambda}$		

b. 光度量

量的名称	量的符号	单位名称	单位的代号
光量	Q_v	流明·秒	$lm \cdot s$
光通量 (功率)	$\Phi_v (F_v)$	流明	lm
光谱光效率	$V(\lambda)$		
光强度	I_v	坎德拉	cd
光亮度	$L_v (B_v)$	坎德拉每平方米 (尼特)	$cd \cdot m^{-2} (nt)$
光照度	E_v	勒克斯	lux
出光度 (光射出度)	M_v	流明每平方米	$lm \cdot m^{-2}$
曝光量	H_v	勒克斯·秒	$lux \cdot s$
(光度量的) 光谱密度	X_v, λ		

光通量(功率)——按照国际约定的平均人眼的视觉特性评价的辐通量。或者说,光谱灵敏度接近于 $V(\lambda)$ 函数的物理探测器所接受到的辐通量。符号 Φ_v (暂用 Φ_v),单位:流明(lm)。

光通量的SI单位(国际单位制)流明是:光强度为1坎德拉的均匀点光源,单位立体角(1球面度)内发出的光通量(参见1948年第九届国际计量大会)。换言之,在所有方向以1坎德拉的光强度均匀辐射的点光源,则发射出 4π lm的总光通量。

光量——光通量及其时程之积。符号: $Q_v, Q_v = \int \Phi_v dt$,单位:流明一秒,(lm·s)。

光量的SI单位流明一秒,等于:在1秒的期间里,辐射或接收1流明的光量。有的把1流明秒叫做塔波特(talbot)。

光强度——点光源在给定方向上,发射在单位立体角内的光通量。符号 I_v

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\omega} \quad (1-9)$$

单位:坎德拉(cd)

〔注〕光强度单位的旧英文名称是Candela,中文名称是“烛光”。根据1948年国际计量大会的决定,采用铂凝固点黑体作为光度基准,光强度单位改成新的国际名称Candela,中文名称有人译为“新烛光”,新旧单位值虽然相差很小,但Candela不应译为“烛光”,而应译为“坎德拉”。

光强度SI单位坎德拉是:在101325牛顿每平方米压力下,处于铂凝固温度的黑体,1/600000平方米表面的垂直方向上的光强度(参见1967年第13届国际计量大会)。

光亮度扩展光源在单位立体角,单位投影面积内发出的光通

量。对于非自发光表面也存在类似定义。符号： L_v （也曾用 B_v ）

$$L_v = \frac{d^2\phi}{d\omega dA \cos \theta} \quad (1-10)$$

单位：坎德拉每平方米 ($\text{Cd} \cdot \text{m}^{-2}$) 亦称为尼特 (nt)。为了参考起见，把常见的光亮度单位换算系数列在表 1-4 中。常见的光亮度水平如表 1-6 所示。

光照度投射在单位面积上的光通量。符号： E_v

$$E_v = \frac{d\phi_v}{dA} \quad (1-11)$$

单位：勒克斯 (lux, l_x)。

光照度的 SI 单位勒克斯是：1 流明的光通量均匀分布在 1 平方米表面上所产生的光照度。为了参考起见把光照度单位换算系数列在表 1-5 中。常见的光照度水平如表 1-7 所示。

曝光量——接收到的光能量的面密度，或者是光照度及其时程之积。符号： H_v

$$H_v = \frac{dQ_v}{dA} = \int E_v dt \quad (1-12)$$

单位：勒克斯一秒 ($\text{lx} \cdot \text{s}$)

曝光量的 SI 单位勒克斯一秒是：1 流明一秒的光量在 1 平方米表面上产生的曝光量。

出光度（光出射度）——离开表面单位面积的光通量。符号：

M_v

$$M_v = \frac{d\phi_v}{dA} = \int L_v \cdot \cos \theta \cdot d\omega \quad (1-13)$$

单位：流明每平方米 ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$)

(光度量的)光谱密度——在给定波长附近,无穷小范围的光度量 X_v 与该波长范围之商。例如:光亮度的光谱密度,也叫做光谱亮度,可定义为:单位立体角、单位投影面积和单位波长间隔从光源发出的光通量。符号: $L_{v,\lambda}$,单位:流明每球面度一平方米一毫微米($\text{lm} \cdot \text{Sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)。

色温度——当光源所发射的光的颜色与黑体在某一温度下辐射的光色相同时,黑体的温度称为该光源的色温度。单位:开(K)。

分布温度——在一定光谱区光源的相对光谱能量[功率]分布与黑体某一温度下辐射的相对光谱能量分布相同或大致相同,则黑体的这个温度称为该光源的分布温度。单位:开(K)。

相关色温度——所研究的辐射体与黑体在某一温度下辐射的光色最接近,即在均匀色品图上色距离最小,则黑体的这个温度定义为该辐射体的相关色温度。单位:开(K)。