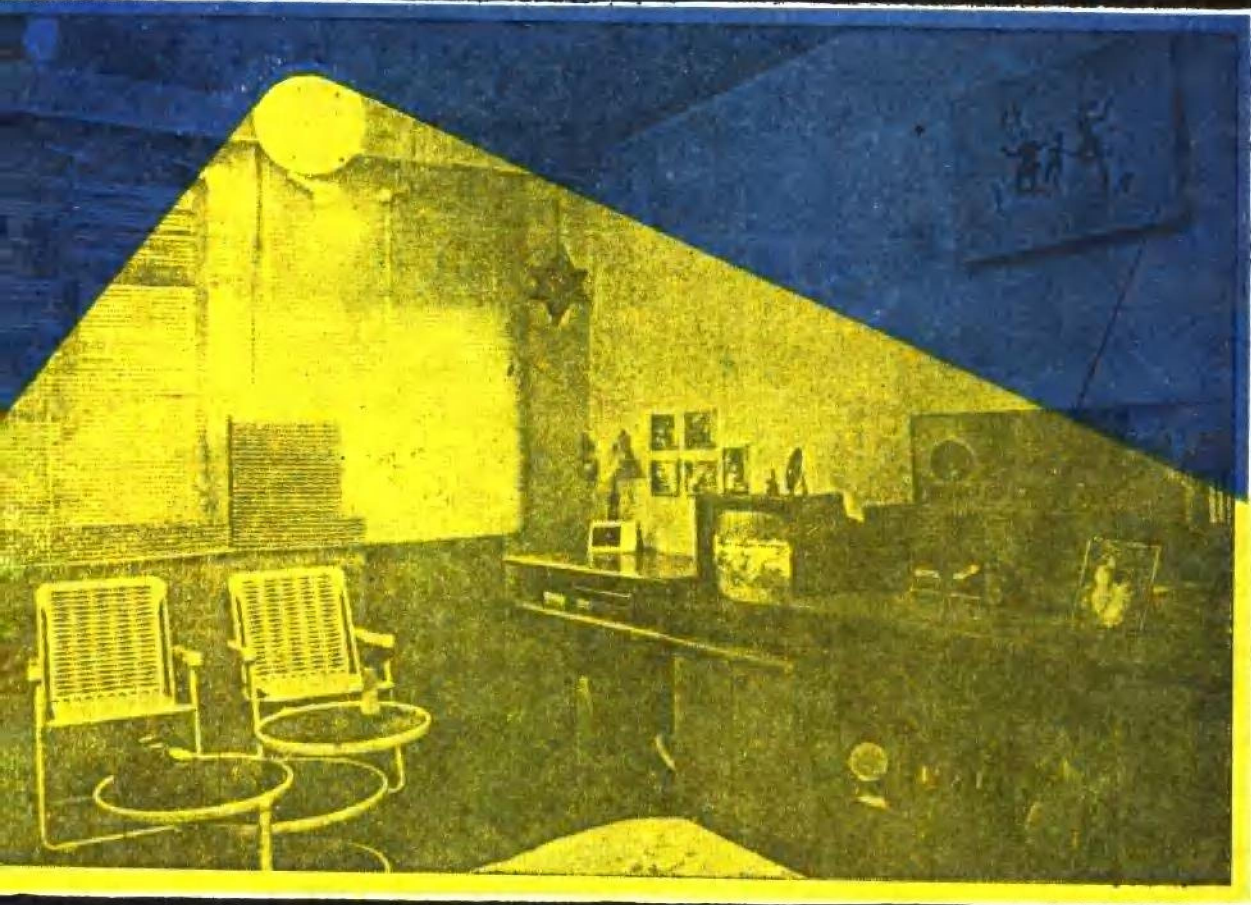


电气照明

俞丽华 朱桐城 编著

TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学出版社

电 气 照 明

俞丽华 朱桐城 编著

ND27/30

同济大学出版社

12-47

内 容 提 要

本书是作者根据长期的工程实践与教学经验编写的教材。全书共分十章,前三章介绍光、视觉、颜色等基础知识;第四到第九章阐述了照明设计的基本计算、设计方法、光源和灯具的选用、施工图的绘制以及有关照度和亮度的工程测量;第十章列举了各类照明的设计实例。根据教学与工程实践的需要,附录中还编入了常用的数据图表,各章还编入了一定的思考与练习题。

本书可供中、高等院校照明工程、建筑电气、工业电气自动化等专业作教材,也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑:平 常

封面设计:李志云

电 气 照 明

俞丽华 朱桐城 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

常熟第七印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张:17.5 字数:448 千字

1990年12月第1版 1996年3月第4次印刷

印数:15001—20000 定价:18.00元

ISBN 7-5608-0610-4/TM·8

前 言

本书是在同济大学 1983 年及 1986 年编写的“电气照明”讲义的基础上,根据多年的教学经验和编者本人从事电气照明工程设计的实践重新充实、改写完成的。

本书以中、高等院校中照明工程、建筑电气、工业电气自动化等专业的学生为主要读者对象,并力求兼顾有关技术人员在照明工程设计中的需要。本书以电气照明设计为轴线,阐述了照明工程的基础理论、基本计算和设计方法。书中采用了国际照明委员会(CIE)、国际电工委员会(IEC)以及我国照明设计标准中最新的规定和建议。

全书共十章,前三章介绍了有关光、视觉、颜色方面的基础知识;第四到第九章阐述了照明设计的基本计算、设计方法、光源和灯具的选用、施工图的绘制以及有关照度和亮度等光度量的工程测量;第十章列举了车间照明、教室照明等设计实例,并在附录中收集了常用的数据图表;为便于读者自学,各章还分别列出“思考与练习题”。打*章节属选读内容。

本书第一、二、三章由朱桐城副教授撰写,第四、五、六、七、八、九、十章及附录由俞丽华副教授撰写。在撰写过程中得到了同济大学杨公侠教授、复旦大学何鸣皋教授,上海灯具研究所章海聪高级工程师,上海民用建筑设计院黄德明高级工程师,曾国英工程师的指导与帮助;王声洋高级工程师对全部书稿进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见;同济大学出版社张平官编辑对本书的出版给予了热情关心与全力支持,编者在此谨向他们表示衷心的感谢。盛晨、薛加勇、杨志参加了资料整理与绘图工作。

由于编者水平有限,书中错误和缺点在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

编者

1989.8

目 录

前言	1
第一章 光和光度量	1
第一节 光的基本概念	1
一、光的本质	1
二、光谱光效率曲线	4
第二节 常用的光度量	6
一、光通量	6
二、发光强度(光强)	6
三、照度	8
四、光出射度(面发光度)	8
五、亮度	8
第三节 材料的光学性质	10
一、反射、透射和吸收系数	10
二、光的反射	10
三、光的折射与透射	12
四、亮度系数	15
五、材料的光谱特性	16
六、材料的其他光学性能	17
思考与练习	18
第二章 光和视觉	20
第一节 视觉的生理基础	20
一、眼睛的构造	20
二、视觉产生过程	21
第二节 视觉特性	22
一、暗视觉、明视觉和中介视觉	22
二、视觉阈限	22
三、明适应和暗适应	23
四、后像	24
五、眩光	24
六、个人差别	26
第三节 视觉功能	26
一、对比敏感度、可见度	26
二、视觉敏锐度(视力)	27
三、视觉感受速度(察觉速度)	27
思考与练习	28
第三章 颜色	30
第一节 颜色视觉	30
一、视网膜的颜色区	30

• 1 •

二、颜色辨认	30
三、颜色对比和颜色适应	31
第二节 颜色的特性	31
一、颜色的特性	31
二、颜色立体	32
三、颜色环	32
四、颜色混合定律	33
第三节 表色系统	33
一、孟塞尔表色系统	34
二、CIE 表色系统	35
第四节 光源的显色性	37
一、光谱能量(功率)分布	37
二、色温	37
三、显色性	39
思考与练习	40
第四章 照明电光源	42
第一节 概述	42
一、热辐射特性	42
二、气体放电原理	43
第二节 白炽灯	45
一、白炽灯的构造	45
二、白炽灯的类别	46
三、白炽灯的光电参数	46
第三节 卤钨灯	49
一、卤钨循环	49
二、卤钨灯的结构与参数	49
三、照明卤钨灯的使用	50
第四节 荧光灯	50
一、荧光灯的分类及其参数	50
二、荧光灯的特性	51
三、荧光灯的工作线路	55
第五节 高强度气体放电灯(HID 灯)	56
一、HID灯的结构与参数	57
二、HID灯的工作特性	59
三、HID灯的工作线路	61
第六节 低压钠灯	62
第七节 照明电光源性能比较和选用	62
一、电光源性能比较	62
二、电光源的选用	62
思考与练习	66
第五章 照明器(灯具)	67
第一节 照明器的特性	67
一、光强空间分布特性	67
二、亮度分布和保护角(遮光角)	71

三、照明器光输出比(亦称照明器效率).....	74
第二节 照明器的分类.....	75
一、按照照明器出射光通分布分类.....	75
二、按外壳防护等级分类.....	79
三、按防触电防护分类.....	81
四、按安装面材料的分类.....	81
第三节 照明器的选用.....	81
一、配光的选择.....	82
二、按环境条件选择.....	82
三、按防触电保护要求选择.....	83
四、经济性.....	83
思考与练习.....	83
第六章 照明计算.....	84
第一节 平均照度计算——利用系数法.....	84
一、基本计算公式.....	84
二、利用系数的有关概念.....	85
三、平均照度计算举例.....	87
四、概算曲线与单位容量法.....	88
第二节 利用系数的求法.....	89
一、光通传递理论.....	89
二、解联立方程求解利用系数.....	91
第三节 点光源直射照度计算(平方反比法).....	93
一、点光源水平照度计算.....	93
二、任意倾斜面照度计算.....	94
三、实用计算图表.....	95
四、逐点计算法举例.....	97
第四节 线光源直射照度计算(方位系数法).....	99
一、线光源的光强分布.....	99
二、基本计算方法.....	100
三、被照点在不同情况下的计算.....	102
四、线光源等照度曲线.....	103
五、线光源计算举例.....	105
*第五节 面光源直射照度计算.....	106
一、等亮度面光源的照度计算.....	107
二、非等亮度面光源的照度计算.....	108
三、实用计算图表.....	109
四、面光源计算举例.....	110
*第六节 反射(间接)照度计算.....	111
第七节 平均亮度计算.....	113
第八节 泛光照明的照度计算——有效光通量法.....	114
第九节 道路照明计算.....	117
一、照度计算.....	118
二、平均照度与平均亮度的换算.....	119
三、道路照明计算举例.....	120

思考与练习	124
第七章 照明光照设计	124
第一节 概述	124
第二节 照明方式和种类	125
一、照明方式	125
二、照明种类	126
第三节 照明质量	126
一、照度水平	127
二、亮度分布	130
三、照度均匀度	130
四、阴影	131
五、眩光	131
六、光的颜色	133
七、照度的稳定性	135
*第四节 各种照度的表达法	135
一、平均球面照度(E_s)	135
二、平均柱面照度(E_c)	136
三、照度矢量(E)	136
四、等效球照度(ESI)	136
第五节 照明器布置	137
一、对室内照明器布置的要求	137
二、距离比 s/h 的确定	139
第六节 建筑化照明	140
一、效果分析	140
二、技术处理	142
第七节 办公室照明	146
一、照明质量	146
二、光源和照明器选择	147
第八节 学校照明	148
一、照明质量	148
二、普通教室和阶梯教室照明	148
三、图书馆照明	150
第九节 工厂照明	151
一、照明质量	152
二、一般照明	152
三、控制室照明	153
四、检验工作照明	154
五、特殊场所照明	154
六、无窗厂房照明	156
*第十节 商业照明	158
一、照度水平	158
二、一般照明	158
三、陈列柜和橱窗照明	159
*第十一节 旅馆照明	161

第十二节 体育运动场所照明	163
一、体育照明的一般要求	163
二、体育馆照明	165
三、游泳馆照明	166
四、室外运动场所照明	169
第十三节 道路照明	174
一、照明质量	174
二、光源选择	175
三、照明器选择与布置	176
思考与练习	179
第八章 照明电气设计	181
第一节 概述	181
第二节 照明供电	181
一、照明对电压质量的要求	181
二、照明负荷分级	182
三、电压和供电方式的选择	182
四、照明供电网络	185
第三节 照明线路计算	187
一、照明负荷计算	187
二、照明线路电压损失计算	188
第四节 照明线路保护	192
一、保护装置设置原则	192
二、保护装置选择	193
第五节 导线、电缆选择与敷设	194
一、导线、电缆类型的选择	194
二、导线截面的选择	196
三、绝缘导线、电缆敷设	200
第六节 照明装置的电气安全	204
一、安全电流和电压	204
二、电击保护	204
三、照明装置的接零保护	205
第七节 照明设计施工图	206
一、设计总则	206
二、电气图绘制要求	207
三、怎样看土建图	208
四、照明供配电系统图	217
五、照明平面图	217
第八节 照明节能与方案的技术经济比较	217
一、照明节能	217
二、照明方案的技术经济比较	218
思考与练习	219
第九章 光的测量	221
第一节 光检测器	221

第二节 光度测量	224
一、照度测量	224
二、光强测量	226
三、光强分布(配光特性)测量	227
四、光通量测量	228
五、亮度测量	229
*第三节 照明器光强分布(配光曲线)测量举例	230
一、测量装置及要求	230
二、测量原理	231
三、测量方法	232
四、光强分布曲线(配光曲线)及其数值	232
第四节 光的现场测量	233
一、照度测量	233
二、亮度测量	234
室内照度测量——实验指示书	236
思考与练习	239
第十章 照明设计实例	240
一、教室照明设计实例	240
二、炼钢厂车间照明设计实例	241
三、体育馆照明设计实例	242
四、游泳馆照明设计实例	242
附录	248

第一章 光和光度量

第一节 光的基本概念

一、光的本质

照明工程中,光是指辐射能的一部分,即能产生视觉的辐射能。

从物理学的观点,光是电磁波谱的一部分,波长范围在 380—780 nm 之间,这个范围在视觉上可能稍有些差异。

任何物体发射或反射足够数量合适波长的辐射能,作用于人眼睛的感受器,就可看见该物体。

描述辐射能的理论有以下几种:

1. 微粒论

由牛顿(Newton)提出,根据以下这些前提:

- 1) 发光体以微粒形式发射辐射能;
- 2) 这些微粒沿直线断续地射出;
- 3) 这些微粒作用在眼睛的视网膜上,刺激视神经而产生光的感覺。

2. 波动论

由惠更斯(Huygens)提出,根据以下这些前提:

- 1) 光是发光材料中分子振动产生的;
- 2) 这振动通过“以太”似水波一样传播出去;
- 3) 这样传播的振动作用在眼睛的视网膜上,刺激视神经而产生视觉。

3. 电磁论

由麦克斯韦(Maxwell)提出,根据以下这些前提:

- 1) 发光体以辐射能形式发射光;
- 2) 这种辐射能是以电磁波的形式传播;
- 3) 这种电磁波作用在眼睛的视网膜上,刺激视神经而产生光的感覺。

4. 量子论

由普朗克(Planck)提出的现代形式的微粒论,根据以下这些前提:

- 1) 能量以不连续的量子(光子)发射和吸收;
- 2) 每个量子的大小为 $h\nu$, 其中 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$ (普朗克常数), ν ——频率(Hz)。

5. 统一论

由德波洛格里(De Broglie)和海申堡格(Heisenberg)提出,根据以下这些前提:

- 1) 每一运动质量元伴随着波动,波动的波长 $\lambda = h/mv$,

其中 λ ——波动的波长

h ——普朗克常数

m ——微粒的质量

v ——微粒的速度

2) 波动论或微粒论不能同时确定全部性质。

量子论和电磁波论给对于照明工程师有重要意义的辐射能特性作了说明。无论光被认为是波动性质的或光子性质的，在更确切地意义上来说是由电子过程产生的辐射。在白炽体、气体放电或固体装置中，被激励的电子返回到原子中较稳定位置时，释放出能量而产生辐射。

简而言之，目前科学家们用两种理论来阐述光的本质，这就是“电磁波理论”和“量子

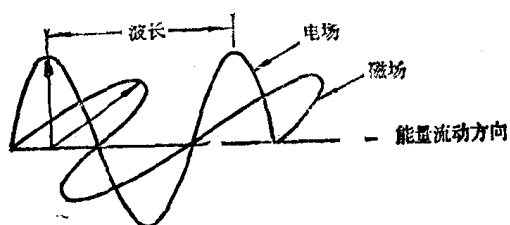


图 1-1 电磁能示意图

论”。电磁波理论认为发光体以辐射能的形式发射光，而辐射能又以电磁波形式向外传输(图 1-1)，电磁波作用在人眼上就产生光的

感觉。量子论认为发光体以分立的“波束”形式发射辐射能，这些波束沿直线发射出来，作用在人眼上而产生光的

感觉。光在空间的运动可以用电磁波理论圆满地加以解释。光对物体(例如对阻挡层光电光度计)的效应可用量子论圆满地加以解释。

辐射能依波长或频率顺序排列的图形称为辐射能波谱或电磁能波谱(图 1-2，见下页)。可以用它来表明各种不同辐射能波长范围之间的关系。

一般辐射能波谱的范围遍布在波长为 10^{-16} — 10^5 m 的区域。可见光谱辐射能的波长在 380×10^{-9} — 780×10^{-9} m(即 380—780 nm)之间，仅是辐射能中很小的一部分。

在 1666 年，牛顿使一束自然光线通过棱镜，从而发现光束中包含组成彩虹的全部颜色。可见光谱的颜色实际上是连续光谱混合而成的。图 1-3 表示光的颜色与相应的波段，波长从 380 nm 向 780 nm 增加时，光的颜色从紫色开始，按蓝、绿、黄、橙、红的顺序逐渐变化。

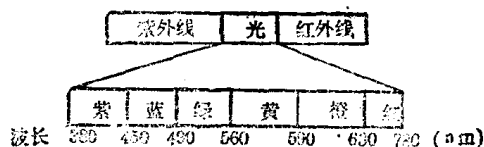


图 1-3 可见光谱

紫外线波谱的波长在 100—380 nm 之间，紫外线是人眼看不见的。太阳是近紫外线发射源。人造发射源可以产生整个紫外线波谱。紫外线有三种效应，见图 1-4 所示。

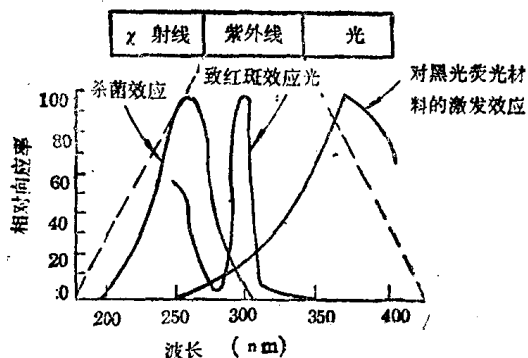


图 1-4 紫外线谱

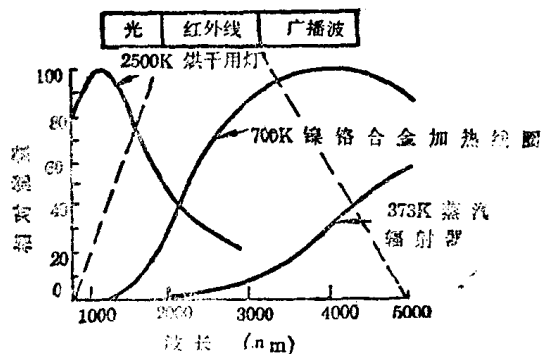


图 1-5 近红外线谱

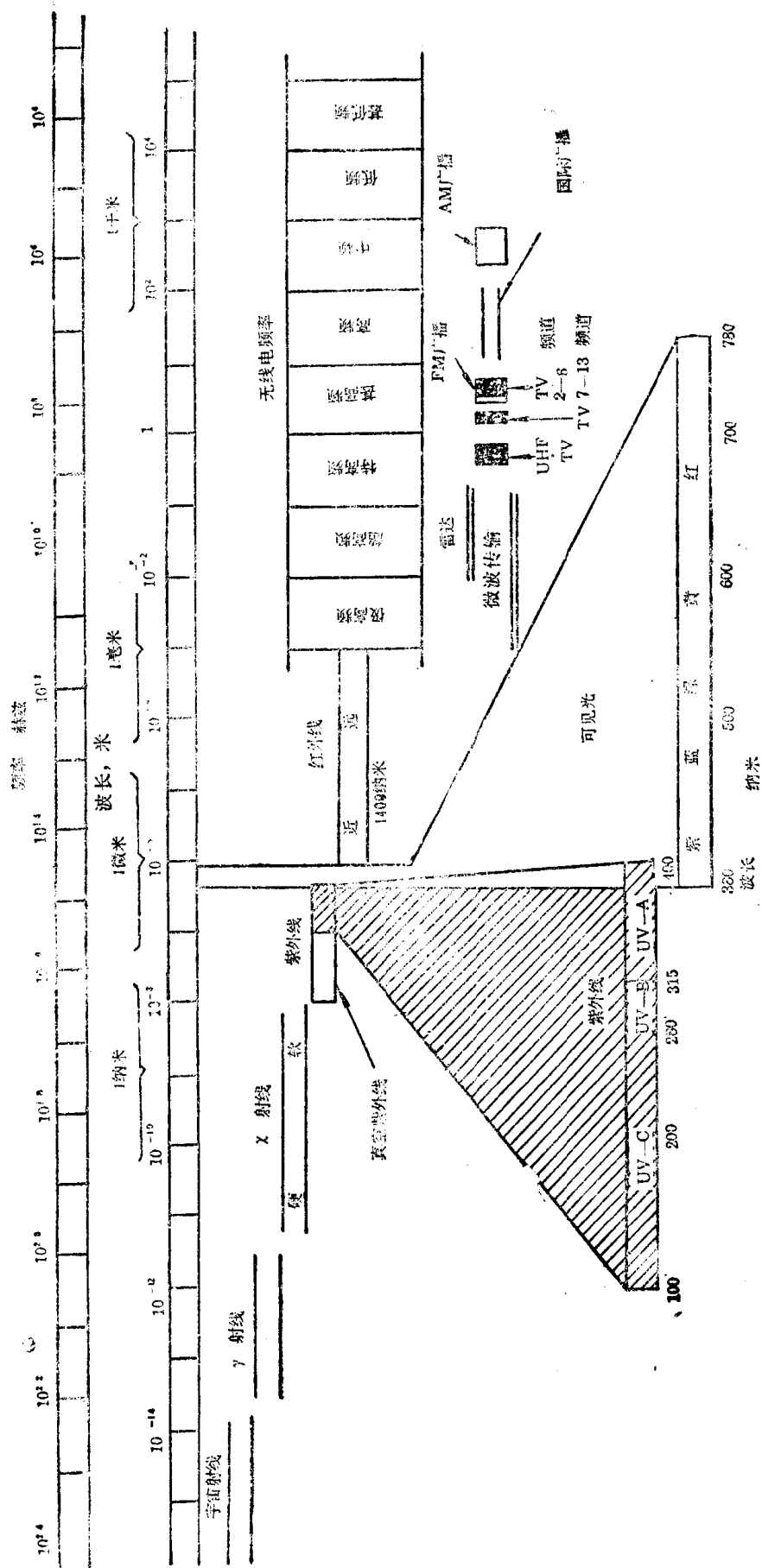


图 1-2 辐射能(电磁能)波谱

红外线波谱的波长在 780 nm—1000 μm 之间,红外线也是人眼看不见的。太阳是天然的红外线发射源。白炽灯一般可发射波长在 5000 nm 以内的红外线。发射近红外线的特制灯可用于理疗和工业设施,见图 1-5 所示。

紫外线、红外线两个波段的辐射能与可见光一样,可用平面镜、透镜或棱镜等光学元件进行反射、成像或色散,故通常把紫外线、可见光、红外线统称为光辐射。

所有形式的辐射能在真空中传播时速度均相同,每秒为 299 793 公里(接近每秒为 30 万公里)。当辐射能通过介质时,它的波长和速度将随介质而改变,但频率是由产生电磁波的辐射源决定的,它不随所通过的介质而变。通过下式,可确定辐射能的速度,同时亦可表明频率和波长的关系:

$$v = \frac{\lambda \nu}{n} \quad (1-1)$$

式中 v ——在介质中波长的速度, m/s

n ——介质的折射率

λ ——在真空中的波长, m

ν ——频率, Hz

表 1-1 给出在不同介质中的光速,其频率相应为在空气中波长 589nm 的光波。

波长 589nm 的光速(D 线钠)		表 1-1
介 质	速度 (m/s)	
真 空	2.99793×10^8	
空气(0℃, 760 mm)	2.99724×10^8	
硬性光学玻璃	1.98223×10^8	
水	2.24915×10^8	

波长代表相邻波峰之间的距离,见图 1-1。波长根据所在波谱中的不同位置,可以用不同的单位表示,例如极短的宇宙射线可用 pm 表示,而很长的电力传输波可用 km 表示。光波的单位可用 Å、nm 和 μm 表示, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, $1 \text{ μm} = 10^{-6} \text{ m}$ 。

频率是指在一秒钟内通过某给定点的波数量。频率单位为 Hz。

二、光谱光效率曲线

光谱光效率用来评价人眼的视觉灵敏度。不同波长的光在人眼中产生光感觉的灵敏度也不同。人眼对波长为 555 nm 的黄绿光感受效率最高,对其他波长的比较低。故称 555 nm 为峰值波长,以 λ_m 表示;用来度量辐射能所引起的视觉能力的量叫光谱光效能 $K_m = 683 \text{ lm/W}$ 。其他任意波长时的光谱光效能 $K(\lambda)$ 与 K_m 之比称为光谱光效率,用 $V(\lambda)$ 表示,它随波长而变化,即,

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (1-2)$$

式中 $K(\lambda)$ ——给定波长 λ 时的光谱光效能
 K_m ——峰值波长 λ_m 时的最大光谱光效能
 $V(\lambda)$ ——给定波长 λ 时的光谱光效率

或者说, 波长为 λ_m 及给定任意波长 λ 产生同样强度的光感觉时, 波长为 λ_m 时的辐射通量与波长为 λ 时的辐射通量之比, 称为该波长的光谱光效率。当波长在峰值波长 λ_m 时, $V(\lambda_m)=1$, 在其他波长 λ 时, $V(\lambda)<1$ 。上述为明视觉的光谱光效率 [见图 1-6 中的曲线 1]。

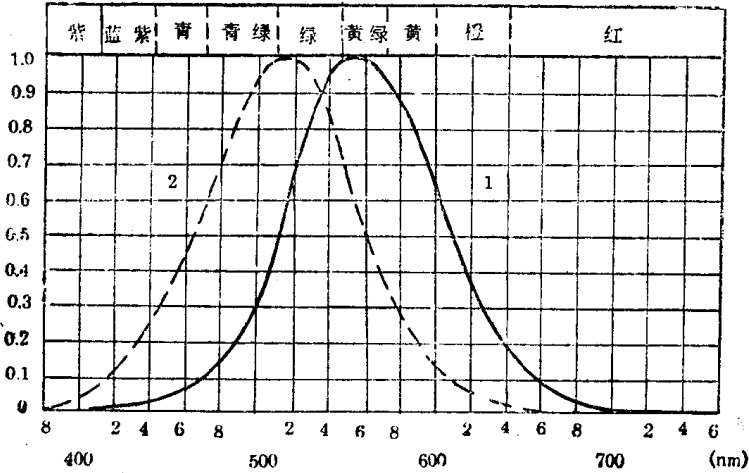


图 1-6 光谱光效率曲线
 1—明视觉; 2—暗视觉

明视觉及暗视觉光谱光效率 表 1-2

波长 λ (nm)	光谱光效率		波长 λ (nm)	光谱光效率		波长 λ (nm)	光谱光效率	
	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$		$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$		$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$
380	0.00004	0.000539	520	0.710	0.935	660	0.061	0.0003129
390	0.00012	0.002209	530	0.862	0.811	670	0.032	0.0001480
400	0.0004	0.00929	540	0.954	0.650	680	0.017	0.0000715
410	0.0012	0.03484	550	0.995	0.481	690	0.0082	0.00003533
420	0.0040	0.0966	560	0.995	0.3288	700	0.0041	0.00001780
430	0.0116	0.1998	570	0.952	0.2076	710	0.0021	0.00000914
440	0.023	0.3281	580	0.870	0.1212	720	0.00105	0.00000478
450	0.033	0.455	590	0.757	0.0653	730	0.00052	0.000002546
460	0.060	0.567	600	0.631	0.03315	740	0.00052	0.000001379
470	0.091	0.676	610	0.508	0.01593	750	0.00012	0.000000760
480	0.139	0.793	620	0.381	0.00737	760	0.00006	0.000000425
490	0.208	0.904	630	0.265	0.003335	770	0.00003	0.0000004213
500	0.323	0.982	640	0.175	0.001497	780	0.000015	0.0000001390
510	0.503	0.997	650	0.107	0.000677			

视觉与亮度的关系是,亮度在 10 cd/m^2 以上时,人眼为明视觉,若再增加亮度,则眼睛的反应不受影响;亮度在 10^{-6} — 10^{-2} cd/m^2 之间时,人眼光谱光效率曲线的峰值要向波长较短的方向移动,其最大灵敏度值一般出现在波长为 507 nm 处,图 1-6 中曲线 2 即为暗视觉光谱光效率曲线。明暗视觉的这种差别被认为与视网膜内两种视觉细胞的工作特性有关(详见第二章),两种光谱光效率曲线测量值列在表 1-2 中。

第二节 常用的光度量

一、光通量

光通量是指单位时间内光辐射能量的大小。它是根据人眼对光的感受来评价的。例如一个 200W 的白炽灯比 100W 的白炽灯要亮得多,也就是说发出光的量多。我们称光源发出光的量为光通量。光通量是光流的时间速率。

光通量一般就视觉而言,即辐射体发出的辐射通量按 $V(\lambda)$ 曲线的效率被人眼所接受,若辐射体的光谱辐射通量为 $\phi_{e,\lambda}$, 其光通量 ϕ 的表达式为:

$$\phi = K_m \int_{380}^{780} \phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda \quad (1-3)$$

式中 K_m ——最大光谱光效能, 683 lm/W

$V(\lambda)$ ——明视觉光谱光效率

$\phi_{e,\lambda}$ ——光谱辐射通量,即在给定波长为 λ 的附近无限小范围内,单位时间内发出辐射能量的平均值,单位为 W/nm 。辐射通量也称辐射功率。

ϕ ——光通量, lm 。

光通量的单位是流明 lm 。在国际单位制和我国法定计量单位中,它是一个导出单位, 1 lm 是发光强度为 1 cd 的均匀点光源在 1 sr 内发出的光通量。

在照明工程中,光通量是说明光源发光能力的基本量。例如,一只 220 V 、 40 W 白炽灯发射的光通量为 350 lm ,而一只 220 V 、 40 W 荧光灯发射的光通量为 2100 lm ,为白炽灯的 6 倍。

二、发光强度(光强)

由于辐射发光体在空间发出的光通量不均匀,大小也不相等,故为了表示辐射体在不同方向上光通量的分布特性,需引入光通量的角(空间的)密度概念。如图 1-7 所示, S 为点状发光体,它向各个方向辐射光通,若在某方向上取微小立体角 $d\omega$,在此立体角内所发出的光通量为 $d\phi$,则两者的比值即为该方向上的光强 I 即:

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (1-4)$$

若光源辐射的光通量 ϕ_e 是均匀的,则在立体角 ω 内的平均光强 I 为:

$$I = \frac{\phi_e}{\omega} \quad (1-5)$$

立体角的定义是任意一个封闭的圆锥面内所包含的空间。立体角的单位为球面度(sr),即以锥顶为球心,以 r 为半径作一圆球,若锥面在圆球上截出面积 A 为 r^2 ,则该立体角即为一个单位立体角,称为球面度,其表达式为:

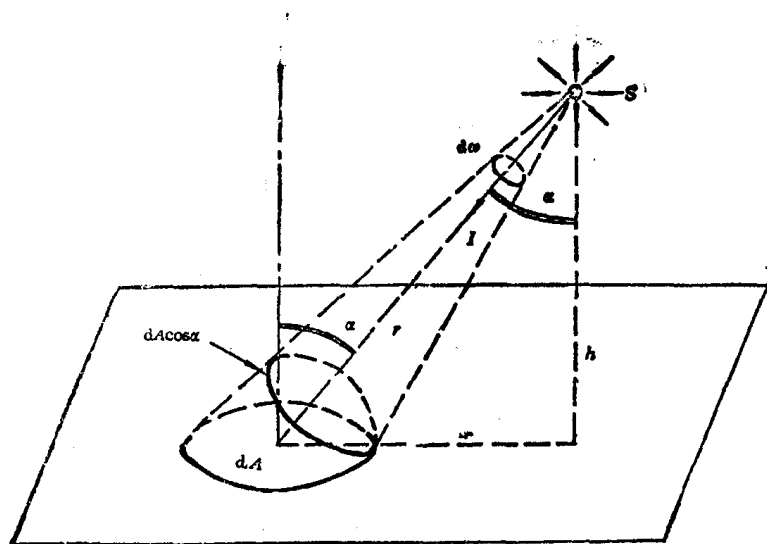


图 1-7 点光源的发光强度

$$\omega = \frac{A}{r^2} \quad (1-6)$$

而一个球体包含 4π 球面度。

发光强度的单位是坎德拉 cd, 在数量上 $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$ 。

坎德拉是国际单位制和我国法定单位制的基本单位之一, 其他光度量单位都是由坎德拉导出的。1979 年 10 月第 10 届国际计量大会通过的坎德拉定义为: 一个光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单色辐射(对应于空气中波长为 550 nm 的单色辐射), 若在一定方向上的辐射强度为 $1/683 \text{ W/sr}$, 则光源在该方向上的发光强度为 1 cd 。

发光强度常用于说明光源和灯具发出的光通量在空间各方向或在选定方向上的分布密度。例如, 一只 220 W 、 40 W 白炽灯发出 350 lm 光通量, 它的平均光强为 $350/4\pi \approx 28 \text{ cd}$ 。若在该裸灯泡上面装一盏白色搪瓷平盘灯罩, 则灯的正下方发光强度能提高到 $70-80 \text{ cd}$ 。如果配上一个聚焦合适的镜面反射罩, 则灯下方的发光强度可以高达数百坎德拉。而在后两种情况下, 灯泡发出的光通量并没有变化, 只是光通量在空间的分布更为集中, 相应的发光强度也提高了。

三、照度

照度是用来表示被照面上光的强弱, 以被照场所光通的面积密度来表示。取微小面积 dA , 入射的光通为 $d\phi$, 则照度 E 为:

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (1-7)$$

对于任意大小的表面积 A , 若入射光通量为 ϕ , 则在表面积 A 上的平均照度 E 为:

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (1-8)$$

照度的单位为勒克斯 (lx)。 1 lx 即表示在 1 m^2 的面积上均匀分布 1 lm 光通量的照度值。或者是一个光强为 1 cd 的均匀发光的点光源, 以它为中心, 在半径为 1 m 的球表面上, 各点所形成的照度值。

照度的单位除了勒克斯 (lx) 外, 工程上还曾经用过英尺-坎德拉 (fc)、辐透 (ph)、毫辐