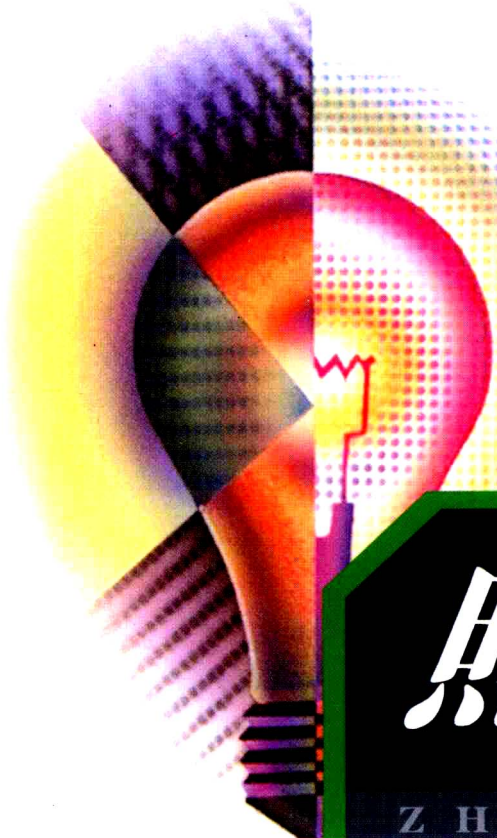




高职高专试用教材

照明技术

Z H A O M I N G J I S H U

主 编 李秀珍

副主编 李 新 张宏军

主 审 李 刚



高职高专试用教材

照明技术

Z H A O M I N G J I S H U

主 编 李秀珍

副主编 李 新 张宏军

参 编 温 雯 姜桂林 武尚君

主 审 李 刚



内蒙古大学出版社

Inner Mongolia University Press

内 容 提 要

建筑照明是建筑中必不可少的部分,直接影响着人们工作生活质量。

本书较全面、系统地讲述了建筑电气照明技术的基本理论,着重讲述了建筑电气照明工程中照明光源、照明器的选择与布置、照度计算方法及衡量标准,增加了新规范要求的节能理论,同时详细讲述了电气知识,引入照明实践加深感性认识。

本书在内容上力求简单明了、实用。全书共分八章,内容包括:光照学基础知识、照明电光源、照明器及布置、光照知识、照度计算、照明节能、照明电气设计、照明实践。

本教材可供普通高等学校高职高专建筑电气、楼宇自动化、装饰技术、水电安装等相近专业使用,同时也可作为从事电气设计和相关工作的工程技术人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

照明技术/李秀珍主编

-呼和浩特:内蒙古大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81115-496-2

I. 照… II. 李… III. 房屋建筑设备-电气照明-高等学校:技术学校-教材 IV. TU113.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 134132 号

照 明 技 术

李秀珍 主编 李新 张宏军 副主编 温雯 姜桂林 武尚君 参编 李刚 主审

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古党委印刷厂印刷

开本:787×1092/16 印张:13.75 字数:280 千

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81115-496-2

定价:24.00 元

前 言

随着高楼大厦的不断崛起,照明在建筑环境中的作用与日俱增,照明设计已成为建筑设计的重要组成部分。人们对照明电光源、电气照明装置以及照明光环境的需求水平越来越高。特别是近年来国家又颁布实施了新的《建筑照明设计标准》和新的相关规范、图集,更为设计指明了方向。同时一些新型的节能产品不断更新,使照明业呈现出无限美好的发展前景,令人深切感觉到提高照明设计水平的重要性。为此,笔者在总结多年教学经验及工程实践经验的基础上,依据国家近年来颁发的有关建筑设计标准和规程规范编著了本书。

本书系统地介绍了电气照明的基本知识、计算方法,针对代表性的建筑详细地介绍了照明设计方法,如住宅建筑、学校建筑、办公建筑、旅馆建筑等,以及与之相应的照明电气、系统设计等,注重基础,突出实用。

本教材适用于普通高等学校高职高专建筑电气、楼宇自动化、装饰技术、水电安装及相近专业使用。

全书共分8章,其中第1章的第1、2节由内蒙古建筑职业技术学院温雯编写,第1章的第3、4节由姜桂林编写,第1章的第5节和第8章的第5节由武尚君编写,第2、3章由李新编写,第4、5章由张宏军编写,第6、7章和第8章的第1、2、3、4节由李秀珍编写。

本书由李刚主审,内蒙古建校建筑勘察设计公司的高级工程师王永连对本书的初稿进行了审定,并提出了审稿意见,在此表示衷心感谢。

由于水平所限,本书难免存在缺点和错误,恳请读者批评指教。

编 者

2008年7月

目 录

第1章 光照学基础知识	(1)
第1节 光的基本概念	(1)
第2节 基本光度量	(3)
第3节 视觉	(8)
第4节 颜色	(13)
第5节 材料的光学性质	(18)
第2章 照明电光源	(25)
第1节 电光源的分类及性能指标	(25)
第2节 热辐射光源	(30)
第3节 气体放电光源	(36)
第4节 其他电光源	(44)
第5节 照明电光源性能比较和选用	(48)
第3章 照明器及其布置	(53)
第1节 照明器的组成和特性	(53)
第2节 照明器的分类	(58)
第3节 照明器的选择	(64)
第4节 照明器布置要求和方式	(65)
第4章 光照知识	(72)
第1节 照明方式和种类	(72)
第2节 照明质量	(74)
第3节 照明标准	(80)
第5章 照度计算	(83)
第1节 点光源直射照度计算	(83)
第2节 线光源直射照度计算	(90)
第3节 面光源直射照度计算	(94)
第4节 平均照度计算	(97)

第5节 道路照明计算	(104)
第6章 照明节能	(109)
第1节 基本理论	(109)
第2节 节能措施	(111)
第7章 照明电气设计	(115)
第1节 供电电压与负荷分级	(115)
第2节 照明供配电系统	(117)
第3节 电气照明负荷计算	(121)
第4节 线缆的选择与敷设	(127)
第5节 保护设备的设置和选择	(134)
第6节 低压配电系统型式与电气安全	(139)
第8章 照明实践	(144)
第1节 电气照明施工图简述	(144)
第2节 施工平面图	(149)
第3节 居住建筑设计实例	(152)
第4节 公共建筑设计实例	(160)
第5节 照明灯具与开关插座的安装	(165)
附录1 光源的技术参数	(175)
附录2 常用照明器的技术参数	(179)
附录3 水平方位系数 AF	(187)
附录4 照度标准(GB50034-2004)	(189)
附录5 单位容量安装值	(195)
附录6 不同建筑照明功率密度允许值(LPD)	(198)
附录7 常用线缆载流量	(201)
附录8 绝缘导线穿管径及管规格	(205)
附录9 不同电压等级的电压损失	(207)
附录10 断路器的技术数据	(210)
参考文献	(212)

第 1 章 光照学基础知识

照明技术的实质主要是光的控制与分配技术,本章首先了解光的一般概念,重点掌握光学的基本物理量,以及影响照明效果的材料性质、视觉与颜色,为后续内容的学习奠定基础。

第 1 节 光的基本概念

1 光的性质

照明工程中,光是一种辐射能,光能可以在没有任何中间媒介的情况下向外发射和传播,这种向外辐射和传播的过程称为光的辐射。任何物体发射或反射足够数量特定波长的能量,作用于人眼睛的感受器官,就可看见该物体。光能在传播过程中以不连续的量子(光子)散射和吸收,这种能又以电磁波的形式传播。因此,光的理论有两种,即光的电磁波理论和光的量子理论。

(1)光的电磁波理论

光的电磁波理论认为光是能在空间传播的一种电磁波,电磁波的实质是电磁振荡在空间的传播。电磁波的传播形式如图 1.1 所示。

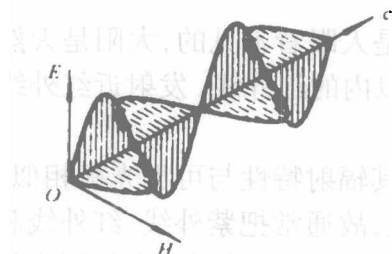


图 1.1

所有的电磁波在真空中的传播具有相同的速度,约为 30 万 km/s。

不同的电磁波在真空中的传播速度虽然都相同,但它们的振动频率和波长各不相同,三者的关系为:

$$c = \lambda \cdot f$$

其中, f 为电磁波的频率(赫兹,Hz), λ 为电磁波的波长(米,m)。

电磁波在介质中传播时,其频率由辐射源决定,它不随所遇到的介质而改变,但传播速度和波长将随介质而变,在介质中电磁波的传播速度为:

$$v = \frac{\lambda \cdot f}{n}$$

其中, v 为电磁波在介质中的传播速度, n 为介质的折射率。

将各种电磁波按波长(或频率)依次排列,可画出电磁波的波谱图,如图 1.2 所示。波长不同的电磁波,其特性也会有很大的差别。不同波段的电磁波是由不同的辐射源产生的,它们对物质的作用也不同,具有不同的应用和不同的测量方法。波长范围在 380~780nm 的电磁波能使人的眼睛产生光感,这部分电磁波称之为可见光。不同波长的可见光有着不同的颜色,从 380nm 到 780nm 依次呈现紫、蓝、青、

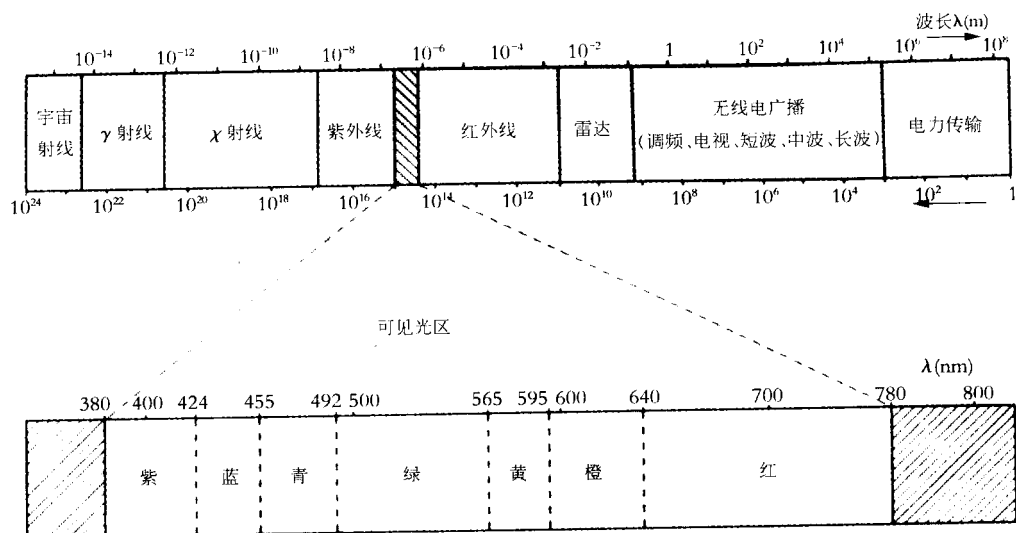


图 1.2 电磁波波谱图

绿、黄、橙、红七种颜色,不同颜色可见光之间并没有明显的界限,而是随波长逐渐变化的,只有单一波长的光才表现为一种颜色,称为单色光,全部可见光混合在一起就形成了日光。波长约为 $100\sim 380\text{nm}$ 的电磁波称为紫外线,紫外线是人眼看不见的光。太阳是紫外线发射源。人造发射源可以产生整个紫外线波谱。紫外线具有杀菌、致红斑效应,以及对黑光荧光材料的激发效应。

红外线波的波长在 $780\text{nm}\sim 1\text{mm}$ 之间,红外线也是人眼看不见的,太阳是天然的红外線发射源,白炽灯一般可发射波长在 $5\,000\text{nm}$ 以内的红外线。发射近红外线的特制灯可用于医疗和工业设施。

紫外线和红外线虽然不能引起人的视觉反应,但其辐射特性与可见光极相似,可用平面透镜、棱镜等光学元件进行反射、成像或色散,故通常把紫外线、红外线和可见光统称为光。太阳所辐射的电磁波中,波长大于 $1\,400\text{nm}$ 的被低空大气层中的水蒸气和二氧化碳所吸收,波长小于 290nm 的被高空大气层中的臭氧所吸收,能到达地球表面的电磁波,其波长正好与可见光相符。这说明人眼对光的视觉反应是人类在进化过程中,对地球大气层透光效果相适应的结果。

(2) 光的量子理论

光的量子理论认为光是由辐射源发射的微粒流。光的这种微粒是光的最小存在单位,称为光量子,简称光子,光子具有一定的能量和动量,在空间占有一定的位置,并作为一个整体以光速在空间波动。光子与其他实物粒子不同,它没有静止的质量。

光的量子理论可以解释一些用光的电磁理论无法解释的现象,例如光的吸收、散射及光电效应等。上述这些现象都和光与物质相互作用有关,这说明光在与物质相互作用时,主要表现为微粒性。

2 光谱光视效率

光谱光视效率用来评价人眼对不同波长的灵敏度,这不仅表现在光的颜色上,而且也表现在光的亮度上。不同波长的光在人眼中产生的光感觉的灵敏度不同。光谱光视效率用来评价人眼对不同波长的灵敏度。在辐射能量相同的各色光中,白天或光线充足的地方,人眼对波长 555nm 的黄绿色光最敏感,波长偏离 555nm 愈远,人眼对其感光的灵敏度愈低,故称 555nm 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称为光谱光视效能, $K_m=683\text{lm/W}$ 。其他任意波长时的光谱光视效能 $K(\lambda)$ 与 K_m 之比称为光谱光视效率,用 $V(\lambda)$ 表示,它随波长而变化,即:

$$V(\lambda)=\frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (1.1)$$

式中, $K(\lambda)$ ——给定波长 λ 时的光谱光视效能;

K_m ——峰值波长 λ_m 时的光谱光视效能;

$V(\lambda)$ ——给定波长 λ 时光谱光视效率。

在黄昏昏暗的环境中,人眼对波长为 507nm 的绿色光最敏感。其最大光谱光视效能也为 683lm/W。

国际照明委员会(CIE)根据各国测试和研究的结果。提出了 CIE 光度标准观察者光谱光视效率曲线,如图 1.3 所示。

光谱光视效率用以衡量各种波长单色光的主观感受量,故又称为单色光的相对视度。例如,在图 1.3 中可查得蓝光(460nm)、黄绿光(555nm)和红光(650nm)的 $V(\lambda)$ 值分别是 0.06、1、0.107。这表明要想使人眼引起相同的主观视觉,应使蓝光和红光的辐射功率分别是黄绿光的 16.6 倍和 9.35 倍。

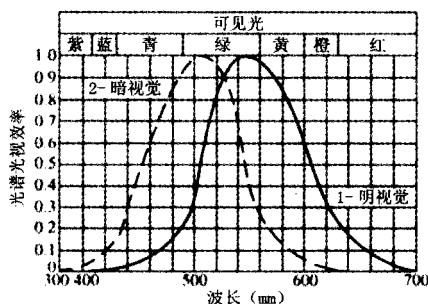


图 1.3 光谱光视效率曲线图

第 2 节 基本光度量

1 光通量

光源在单位时间内向周围空间辐射并能使人眼产生光感的能量,称为光通量,用符号 Φ 表示,单位为 lm(流明)。

由最大光谱光效能可知,人眼可感受到波长为 555nm 黄绿光的光谱光视效能为 683lm/W,当其光源的辐射功率为 1W 时,其光通量应为 683lm,由此可得出某一波长的光源的光通量计算式为:

$$\Phi(\lambda)=K_m V(\lambda) \Phi_{e\lambda} \quad (1.2)$$

式中, $\Phi(\lambda)$ ——波长为 λ 的光通量(lm);

$V(\lambda)$ ——波长为 λ 的光谱光视效率;

$\Phi_{e\lambda}$ ——波长为 λ 的光源的辐射功率,即在给定波长 λ 的范围内,单位时间内发出辐射能量的平均值,单位为 W/nm;

K_m ——最大光谱光效能, $K_m=683\text{lm/W}$ 。

式(1.2)是单色光的光通量计算公式,对大多数光源来说都会含有各种波长的单色光,其光源的光通量计算公式为:

$$\Phi(\lambda)=K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1.3)$$

【例 1.1】已知钠光灯发出波长为 589nm 的单色光,若它的辐射功率为 10.3W,试计算钠光灯发出的光通量。

解:从图 1.3 相对光谱光效率(实线)可知,对应于波长为 589nm 的 $V(\lambda) = 0.78$,则钠光灯所发出的光通量为:

$$\Phi=K_m V(\lambda) \Phi_{e\lambda}=683 \times 0.78 \times 10.3=5\,487\text{lm}$$

【例 1.2】某 100W 白炽灯的光谱能量分布如下表所示,求该灯的光通量。

某 100W 白炽灯的光谱能量公布

$\lambda(\text{nm})$	400	450	500	550	600	650	700	750
$\Phi_{e\lambda}(\text{W/nm})$	2.5	6.0	10.5	16.1	21.5	27.0	31.0	35.0

解:列表计算如下。在计算辐射光通量时,波长间隔通常取 10nm 或 5nm,间隔越小,准确度越高,本例为简化计算,波长间隔为 50nm。

$\lambda(\text{nm})$	$\Phi_{e\lambda}(\text{W/nm})$	$V(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}V(\lambda)d\lambda$	$\lambda(\text{nm})$	$\Phi_{e\lambda}(\text{W/nm})$	$V(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}V(\lambda)d\lambda$
400	0.002 5	0.000 4	0.050×10^{-3}	600	0.021 5	0.631	678.325×10^{-3}
450	0.006 0	0.038	114×10^{-3}	650	0.027 0	0.107	144.450×10^{-3}
500	0.010 5	0.323	169.575×10^{-3}	700	0.031 0	0.004 1	6.355×10^{-3}
550	0.016 1	0.995	800.975×10^{-3}	750	0.035 0	0.000 12	0.210×10^{-3}

得:
$$\Phi=K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) \cdot d\lambda=683 \times 1.800=1\,230\text{lm}$$

光通量的实质是表明光源发光能力的一个基本参数。一只 100W 的白炽灯比一只 40W 的白炽灯要亮得多。一只 220V、40W 的普通白炽灯的光通量为 350lm,而一只 220V、36W 的荧光灯的光通量为 2500lm,故同瓦数的荧光灯比白炽灯亮得多。

2 发光强度

(1)立体角

以 O 点为原点作一射线,该射线围绕原点在空间运动,且最终仍回到初始位

置,则射线所扫过的区域就形成一个锥面,该锥面所包围的空间称为立体角。

若以原点 O 为球心作一半径为 r 的球面,则上述立体角锥面在球面上截得面积为 dA 的面元,立体角的定义式为:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (1.4)$$

立体角的单位为球面度(sr)。

例如整个球面的面积为 $A=4\pi r^2$,所以整个球面对应于球心的立体角为:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$$

同理,半球面对球心的立体角为 2π 。

(2)发光强度

发光体在给定方向上的发光强度是该发光体在该方向的立体角 $d\Omega$ 内传输的光通量 $d\Phi$ 除以该立体角所得之商,即单位立体角的光通量,如图 1.4 所示,其公式为:

$$I_\theta = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1.5)$$

该量的符号为 I_θ , 单位为坎德拉(cd),

1cd=1lm/sr。

【例 1.3】100W 普通白炽灯输出的光通量为 1 250lm, 假设光源向四周是均匀发射其光通量的,求光源某方向上的光强。

解:根据题意,白炽灯是均匀地向四周发射光通量的,因此它向任何方向的光强也是相同的。白炽灯共发出 1 250lm 光通量,四周空间对白炽灯张开的立体角为 4π ,故各方向的光强为:

$$I_\theta = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{1250}{4\pi} = 99.5\text{cd}$$

发光强度常用于说明光源和灯具发出的光通量在空间选定方向上的分布密度。在日常生活中,人们为了改变光通量在空间的分布情况,采用了各种不同形式的灯罩进行配光。例如上例中的平均光强为 99.5cd,若在该灯泡上面安装一盏白色搪瓷平盘灯罩,那么灯的正下方发光强度可提高到 220 ~ 240cd;如果配上一个聚焦合适的镜面反射罩,那么灯下方的发光强度可以高达数百坎德拉。然而,在后两种情况下,灯泡发出的光通量并没有变化,只是改变了光通量在空间的分布,从而使灯下方的发光强度提高了。

3 照度

物体表面上一点的照度是入射在包含该点的面元上的光通量 $d\Phi$,除以该面元面积 dA 所得之商,即单位面积内所接受的光通量,如图 1.5 所示。

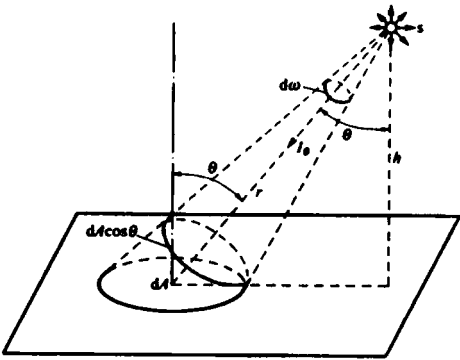


图 1.4 点光源的发光强度

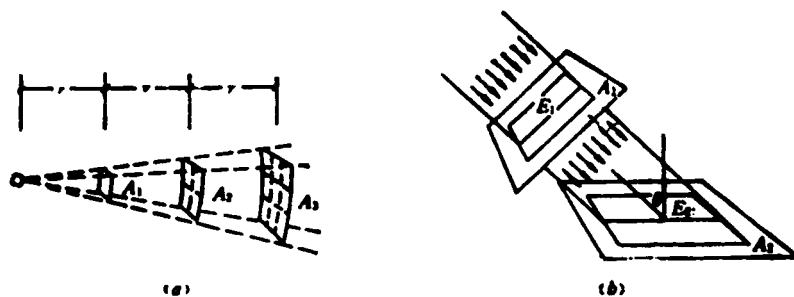


图 1.5 点光源的发光强度与照度的关系

(a) 光线垂直入射到被照面上 (b) 光线倾斜入射到被照面上

其公式为

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1.6)$$

该量的符号为 E , 单位为勒克斯, (lx) $1lx = 1lm/m^2$ 。

$1lx$ 即表示在 $1m^2$ 的面积上均匀分布 $1lm$ 光通量的照度值, 或者是一个光强为 $1cd$ 的均匀发光的点光源, 以它为中心, 在半径为 $1m$ 的球面上, 各点形成的照度值。 $1lx$ 的照度是比较小的, 在此照度下仅能大致地辨认周围物体, 要进行区别细小零件的工作则是不可能的。为了对照度有一个实际了解, 现举例说明: 在 $100W$ 白炽灯下 $2m$ 处的照度约为 $25lx$, 夏季白天采光良好的室内照度为 $100 \sim 500lx$, 晴天室外太阳散射光下的地面照度约为 $1000lx$, 晴朗的满月夜地面照度约为 $0.2lx$ 。

一般情况下, 当光源的大小比被照面的距离小得多时, 可将光源视为点光源, 根据光强和立体角的公式, 可得

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{I_{\theta} \cdot d\Omega}{dA} = \frac{I_{\theta} \cdot \frac{dA}{r^2}}{dA} = \frac{I_{\theta}}{r^2} \quad (1.7)$$

上述说明照度 E 与光源在这个方向上的光强成正比, 与它至光源距离的平方成反比, 因此, 在照明设计中为了提高局部照度, 在光源不变的情况下, 可通过改变灯具的配光特性和安装高度来实现。

【例 1.4】在桌子正上方 $2m$ 处挂一盏 $40W$ 的白炽灯, 试计算:

(1) 灯正下方桌子的照度; (2) 将白炽灯悬挂高度降低至距桌面 $1m$ 时, 其正下方桌子的照度。

解: (1) 由设计手册查得 $40W$ 白炽灯的发光强度 $I_{0-45^\circ} = 30cd$ 。

则灯正下方桌子的照度为:

$$E_1 = \frac{I_{\theta}}{r^2} = \frac{30}{2^2} = 7.5lx$$

(2) 白炽灯距桌面 $1m$ 时上述照度为:

$$E_2 = \frac{I_\theta}{r^2} = \frac{30}{1^2} = 30\text{lx}$$

4 亮度

在房间内同一位置,并排放着一个黑色或一个白色的物体,虽然它们的照度一样,但人眼看起来白色物体要亮得多。这说明了被照物体表面的照度并不能直接表达人眼对它的视觉感觉。这是因为人眼的视觉是由被视物体的发光或反光(透光)在眼睛的视网膜上形成的照度产生的。视网膜上形成的照度愈高,人眼就感到愈亮。白色物体的反光比黑色物体要强得多,所以感到白色物体比黑色物体亮得多。被视物体实际上是一个发光体,视网膜上的照度是被视物体在沿视线方向上的发光强度造成的。

发光体在视线方向单位投影面积上的发光强度,称为该发光体的表面亮度,如图 1.6 所示,其公式为:

$$L = \frac{I_\theta}{dA \cdot \cos\theta} \quad (1.8)$$

该量的符号为 L,单位为坎德拉每平方米(cd/m²)。

亮度的定义对于一次光源和被照物体是同等适用的。亮度是一个客观量,但它直接影响人眼的主观感觉。部分光源的亮度如表 1.1 所示。

表 1.1 部分光源亮度

光 源	亮度(cd·m ⁻²)	光 源	亮度(cd·m ⁻²)
太阳	1.6×10 ⁹ 以上	钨丝白炽灯	(2.0~20)×10 ⁶
晴天天空	8 000	荧光灯	(0.5~15)×10 ⁴
微阴天空	5 600	电视屏幕	(1.7~3.5)×10 ³
从地球表面观察	2 500	蜡烛	(0.5~1.0)×10 ⁴

【例 1.5】已知 200W 白炽灯发出 2 920lm 的光通量,如外加一个直径为 250mm 的乳白玻璃球形灯罩,设乳白玻璃的透射比为 0.6,求灯罩的表面亮度。

解:设灯罩的表面亮度是均匀的,根据灯罩尺寸求出其表面积为:

$$A = \pi D^2 = 3.14 \times 0.25^2 \approx 0.20\text{m}^2$$

由公式(1.5)得:

$$I_\theta = \Phi / \Omega = (2\,920 \times 0.6) / 4\pi = 139.49\text{cd}$$

由公式(1.8)得:

$$L_\theta = \frac{I_\theta}{A \cos\theta} = 139.49 / (0.20 \times 1) = 697.45\text{cd/m}^2$$

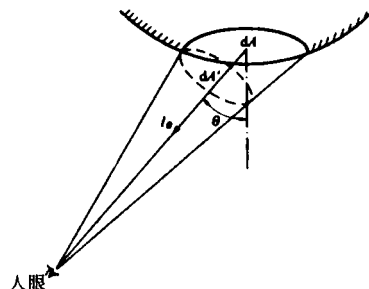


图 1.6 广光源一个单元面积上的亮度

由于人眼对高亮度不能忍受,所以白炽灯一般加乳白玻璃外罩。另外,设白炽灯的灯丝表面亮度为 $300 \times 10^4 \text{cd/m}^2$,则乳白玻璃外罩的亮度仅为白炽灯灯丝亮度的 $697.45/(300 \times 10^4) \approx 1/4\,000$,所以装上乳白玻璃外罩对降低灯具表面亮度以及保护人的眼睛都有很大的好处。

以上介绍了常用的几个光度量单位:光通量表征的是发光体的发光能力;光强表明了光源辐射光通量在空间的分布状况;照度表示被照面接受光通量的面密度,用来衡量被照面的照射程度;亮度则表明了直接发光体和间接发光体在视线方向上单位面积的发光强度,即物体表面的明亮程度。

第 3 节 视 觉

1 视觉的生理基础

人的视觉系统主要由眼睛、神经纤维和大脑三部分组成,如图 1.7 所示。



图 1.7 视觉系统

物体发出(或反射、透射)的光射入眼内,在视网膜上形成大小及照度与物体的尺寸和相对应部位的亮度成比例的图像。感光细胞根据所吸收光能的多少和波长发生相应的生理反应,形成相应的信号,经神经送入大脑相应部位的皮层中进行加工处理,再观察影像的形状和色彩,最后形成对所观察物体的视觉。视觉系统任何一部分缺损,都将致使视觉不能形成。

眼睛是一个复杂而精密的感觉器官,其构成如图 1.8 所示,人眼的主要组成部分和功能如下。

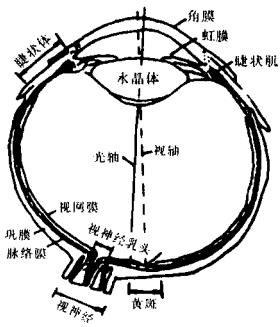


图 1.8 人眼的剖视图

(1)瞳孔:虹膜中央的圆形孔,其孔径可根据环境的明暗程度自动调节。

(2)晶状体:为一扁球形的弹性透明体,睫状肌收缩或放松可改变它的形状。从而改变其屈光度,使远近不一的外界景物都能在视网膜上清晰成像。

(3)视网膜:光线经瞳孔、水晶体在视网膜上成像。视网膜是眼睛的视觉感受部分,它上面布满了感光细胞,光线射到感光细胞上面,它们就会产生脉冲信号,经视神经传至大脑,最后形成视觉。

(4)感光细胞:感光细胞有两种——锥状细胞和杆状细胞,它们的分布位置和功能各异。

1)锥状细胞:锥状细胞主要集中在视网膜的中央部位,这个部位称为黄斑区。如图 1.9 所示。在黄斑区的中心有一小凹,称为中心窝,在中心窝处锥状细胞的密度达到最大,在黄斑区以外,锥状细胞的密度迅速下降。

锥状细胞只在明亮的环境下(约 1.0cd/m^2 以上的亮度)起作用,对色觉和视觉敏锐度起决定作用,它能分辨出物体的细部和颜色,并对环境的明暗变化作出迅速

反应。

2) 杆状细胞:与锥状细胞的分布相反,在中心窝处没有杆状细胞。自中心窝向外,其分布密度迅速增加,在离中心窝 20° 附近达到最大密度,然后又逐渐减少。如图 1.9 所示。杆状细胞感觉性强,在微光环境中(0.01cd/m^2 以下的亮度)仍能感光,它虽能看到物体,但不能分辨其细部和颜色,对明暗的变化反应缓慢。

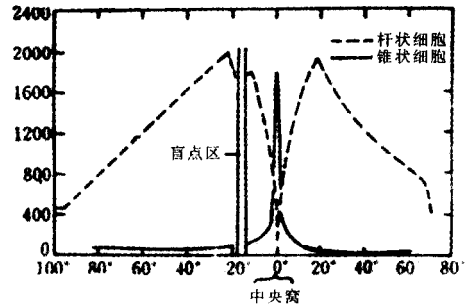


图 1.9 锥状细胞和杆状细胞的分布

在漆黑的晚上,没有一点光亮,我们睁大眼睛还是什么都看不见。晨光曦微时,虽然光线很弱,但依靠杆状细胞的作用,我们已能看出近旁物体的轮廓,区别出近水、远山和天空。随着黎明的到来,大地愈来愈亮。这时杆状细胞的作用逐渐减弱,锥状细胞的作用逐渐增强。这样周围的一切愈来愈清楚地呈现在我们的眼前,而且由单一的灰色逐渐“变为”各种各样的颜色。以上的变化过程说明,周围环境具有一定亮度时,人眼才能看见物体,亮度愈高看得愈清楚,而且要具有相当亮度才能分辨出颜色。

2 视觉特性

(1)视觉阈限

视觉系统极其复杂,它有很大的自调能力,但这种能力有一定的限度。例如视觉器官可以在很大的强度范围内感受到光的刺激,但也有一个最低的限度,当低于这一限度时,就不再能引起视觉器官对光的感觉了。能引起光觉的最低限度的光量,就称为视觉的阈限,一般用亮度来度量,故又称为亮度阈限。

当背景亮度 L_b 近似为零,而观察目标又足够大,该目标形成的视角不小于 30° 时,眼睛能识别的最低亮度称为视觉的绝对亮度阈限。实验证明,当观察目标发射(或反射、透射)出的光是连续光谱的白光,则视觉的绝对亮度阈限均为 10^{-6}cd/m^2 。

视觉的亮度阈限与诸多因素有关,比如与目标物的大小、目标物发出光的颜色以及观察时间等。目标物越小,亮度阈限越高,目标物越大,亮度阈限越低,目标物发出光的波长较长(如红光、黄光)时,亮度阈限低,较短(如蓝光、紫光)时,亮度阈限高,被观察目标呈现时间越短,亮度阈限值就越高,呈现时间越长,亮度阈限值就越低。通常是亮度越高越有利于视觉。但是,当亮度超过 10^6cd/m^2 时,视网膜可能被灼伤,所以只能承受不超过 10^6cd/m^2 的亮度。

(2)视力和视觉速度

1) 亮度对比、对比灵敏度、可见度

眼睛要辨别目标物,实际上总是把它同与之直接相邻的背景作比较后才能实现。目标物与背景之间要有一定的差异,才容易辨认。这种差异主要有两类:一类是

目标物与背景具有不同的颜色,例如白纸上的黑字。另一类是目标物与背景具有不同的亮度。也就是说,目标物与背景之间要有一定的对比,前者称作颜色对比,也是这里主要讨论的一种对比。

在讨论亮度阈限时要求背景亮度为零,但实际的视觉工作时,一般背景绝对不会是黑暗的。设背景亮度为 L_b ,被观察的目标物的亮度为 L 。则目标物和背景的亮度差与背景亮度之比称为亮度对比,即:

$$C = \frac{\Delta L}{L_b} = \frac{L - L_b}{L_b} \quad (1.9)$$

把眼睛刚刚能辨别出目标物时的最小亮度比称为临界亮度比,记作 C_p ,即:

$$C_p = \frac{L_b}{\Delta L} \quad (1.10)$$

临界亮度比的倒数称为对比灵敏度,记作 S_c

$$S_c = \frac{1}{C_p} = \frac{\Delta L}{L_b} \quad (1.11)$$

对比灵敏度愈大的人能辨别愈小的亮度对比,或者说在一定的对比之下辨别对象愈清楚。可以通过增加背景亮度提高对比灵敏度,目标物的实际亮度对比 C 与其临界亮度对比 C_p 之比即为该目标物的可见度,记作 V ,即:

$$V = \frac{C}{C_p} \quad (1.12)$$

当目标物的视角和背景亮度一定时,该目标物的临界亮度对比是确定的,因此目标物的实际亮度对比越大,则可见度越大。反之,目标物的实际亮度对比越小,则可见度就减小。

2) 视力

视力与视觉条件和个人的视觉差别有关。视力的定性含义是指眼睛识别精细物体的能力。视力定量含义是指人眼能够区别两个相邻物体最小张角 D 的倒数。

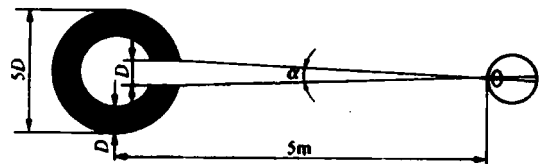


图 1.10 兰道尔环标准视标

国际上通常采用白底黑色的兰道尔环作为检查视力的标准视环,如图 1.10 所示。当 $D=1.5\text{mm}$,环心到眼睛切线的距离为 5m 时,若刚刚能识别这个缺口的方向,则视力为 1.0。若距离不变,当 $D=3\text{mm}$ 时,则视力为 0.5;当 $D=1\text{mm}$ 时,则视力为 1.5。

视力与被视物体的背景亮度和亮度对比有关。当亮度对比或背景亮度增加时,都有利于视力的提高。一般在亮度对比值或背景亮度较小时,随着它们的增加,对提高视力的作用很明显,但随着亮度对比值或背景亮度值的提高,这种作用将逐渐减小。实际上,当亮度对比或背景亮度过大时,不仅不会再提高视力,反而会影响视

力,甚至损伤眼睛。

3) 视觉速度

光线进入眼睛,作用于视网膜,并形成视觉,是需要一定时间的,从物体出现到形成视觉所需要的时间 $t(s)$ 的倒数称为视觉速度。

$$V = \frac{1}{t} \quad (1.13)$$

视觉速度与照明有直接关系,良好的照明条件可以缩短形成视觉所需的时间,也即可以提高了视觉速度,从而提高工作效率。

视觉速度与目标物尺寸(即视角大小)、亮度对比和环境亮度(或背景亮度)有关。在一定的背景亮度下,物体越大或亮度对比越大,识别速度越快,当物体尺寸一定时,视觉速度随背景亮度的增加而增加。

(3) 明视觉、暗视觉和中介视觉

前已述及,在明亮环境中主要由锥状细胞参与视觉工作,因此称为锥状视觉,又称明视觉。环境亮度超过 10cd/m^2 时就达到明视觉的要求。在昏暗的环境下主要由杆状细胞参与工作,因此称为杆状视觉,又称暗视觉。环境亮度低于 10^{-2}cd/m^2 时就形成暗视觉。当环境亮度在 $10^{-2} \sim 10\text{cd/m}^2$ 时,这时的视觉特性既不同于明视觉,也不同于暗视觉,这种视觉状态称为中介视觉。

锥状神经细胞和杆状神经细胞对光的敏感性不同,锥状神经细胞对 555nm 的光敏感性最大。杆状神经细胞对 507nm 的光敏感性最大。

(4) 视觉适应

在现在和过去呈现的各种亮度、光谱分布、视角的刺激下,视觉系统状态的变化过程称之为视觉适应。它可分为明适应和暗适应。

人从黑暗处进入明亮的环境时,最初会感觉到刺眼,而且无法看清周围的景物,但过一会儿就可以恢复正常的视力,这种适应叫明适应。人从明亮的环境进入暗处时,在最初阶段什么都看不见,逐渐适应了黑暗后,才能区分周围物体的轮廓,这种从亮处到暗处,人们视觉阈限下降的过程就称为暗适应。明适应和暗适应所需的适应时间,视具体情况有长有短,一般说来明适应所需时间较短,暗适应所需时间较长。

在空间照明设计时,要考虑到人的明适应和暗适应因素,处理好过渡空间和过渡照明的设计。因此,《建筑照明设计标准》中规定,房间或场所内的通道和其他非作业区域的一般照明的照度值不宜低于作业区域一般照明照度值的 $1/3$ 。

(5) 视野(视场)

人的视觉范围称之为视野,也称作视场。在正常情况下,人两眼的水平视野为 200° ,垂直视野为

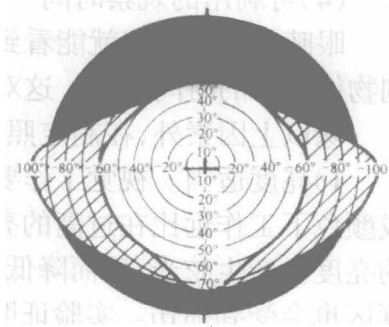


图 1.11 中国人视野