

建筑光环境

詹庆旋

清华大学出版社

前 言

人类的生活时时刻刻离不开光。光辐射引起人的视觉,人才能看清他周围的环境。人从外界获得的信息约有80%来自光和视觉,所以,无论是白天还是晚间,舒适的光环境对任何人都是至关重要的。

光环境(Luminous environment)的内涵很广,它指的是由光(照度水平和分布,照明的形式和颜色)与颜色(色调,色饱和度,室内颜色分布,颜色显现)在室内建立的同房间形状有关的生理和心理环境。

人对光环境的需求与他从事的活动有密切关系。在进行生产、工作和学习的场所,优良的照明振奋人的精神,提高工作效率和产品质量,保障人身安全与视力健康。因此,充分发挥人的视觉效能是营建这类光环境的主要目标。而在休息、娱乐和公共活动的场合,光环境的首要作用则在于创造舒适优雅、活泼生动,或庄重严肃的特定环境气氛,光对人的精神状态和心理感受产生积极的影响。

光与色彩还是显示建筑空间,表现造型艺术,美化室内外环境的重要手段。建筑师巧妙地运用光和色彩能获得意境不凡的艺术效果。

光环境设计是现代建筑创作的一个有机组成部分。它既是科学,又是艺术,同时也要受经济和能源的制约。当今的世界在照明上一年要花掉1000亿美元,消费10%左右的电力。所以必须推行合理的设计标准,使用节能的照明设备,采取科学与艺术融为一体的先进设计方法。

光环境设计要运用很多学科的基础理论,例如建筑学、物理学(包括光学、光度学、色度学)、生理学、心理学、人类工效学、美学等等。本书将着重讲解有关的概念和理论,以期读者对光环境的设计原理有正确的理解。此外,对照明设备、控光材料、照明形式、计算方法、测光技术等实用的知识和资料也有较全面的介绍,并通过实例分析,力求使读者掌握光环境设计的方法和技巧。考虑到建筑学专业人员的特点,复杂的数学分析从略。

唐 庚 旋

一九八六年

内 容 提 要

本书扼要系统地讲解建筑光环境的设计原理和方法,内容包括天然光环境和人工光环境的视觉评价、设计标准、计算方法与应用实例等。书中对视觉、光度学、色度学、材料光学特性、光气候、照明设备、测光仪器等有关的基本知识也作了介绍。

本书可作大专院校建筑学专业学习光环境设计的教材,或作建筑电气专业学习照明设计的参考书;并可供建筑和电气的科研与设计人员、照明技术工作者及照明管理人员阅读参考。

建 筑 光 环 境

詹 庆 旋

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京市向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 10 字数: 236千字

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数: 00001—10000 定价: 1.70元

ISBN 7-302-00148-0/TU·12 (课)

序

科学技术的飞跃发展和人对生活质量的不断追求,使建筑师的设计眼光从经营构图、组织空间扩大到创造环境。这是对建筑本质的理解的深化,也是设计观念的进步和变革。这种变革要求新一代的建筑师必须对于人需要什么样的环境,以及如何在建筑物内部和外部提供这种环境有更多的了解。

“环境”一词的含意很广。它既包括物理的、化学的、生物的物质因素,也包含社会的、文化的和心理的精神因素。这些因素交织在一起,构成了人所处的环境。

在建筑物内部,物理环境是指对人的工作效率、身心健康和生活舒适有直接影响的声、光、热等物理因素。人的生存离不开这些物理因素,但是声、光、热等物理量过高或过低又会对人造成伤害。因此,我们必须首先从人的效率、舒适、安全的角度对建筑的物理环境给出定量的评价。其次需要研究提供良好物理环境和消除不良影响的技术途径与控制措施。这就是本书所要讨论的核心内容。

物理环境是建筑环境的重要组成部分。物理环境的规划和设计固然要运用物理方面的原理和定律,也同心理学、工程技术乃至艺术、经济有密切的关系。本书在编写中力求全面地介绍与物理环境有关的理论、知识和经验,反映这个学科的最新发展;内容包括物理概念和定律、物理环境的定量评价方法、设计标准、计算与测量、构造与设备、经济与节能等各个方面。它是供建筑学专业的大学生学习“建筑物理环境”课程使用的教材;也是简要讲述物理环境设计原理和设计方法的专著。全书分三册出版,即《建筑光环境》、《建筑声环境》和《建筑热环境》。每册独立成章,便于建筑师及相关专业的科研、设计人员参考。

清华大学建筑系建筑物物理教研组

一九八六年

目 录

序

前 言

第一章 光与颜色的基本概念	1
第一节 光的性质.....	1
第二节 光度量.....	2
一、光通量.....	2
二、照度.....	2
三、发光强度.....	3
四、光亮度.....	3
五、小结.....	4
第三节 光的反射与透射.....	5
一、反射.....	6
二、透射.....	8
三、折射.....	9
第四节 颜色.....	10
一、颜色的基本特性.....	10
二、颜色的定量.....	12
三、光源颜色.....	15
习题.....	18
第二章 视觉与光环境质量评价	19
第一节 眼睛与视觉.....	19
一、视觉.....	19
二、眼睛.....	19
第二节 视觉特性.....	20
一、亮度阈限.....	20
二、光量效应——韦伯定律.....	20
三、视野.....	21
四、对比感受性(对比敏感度).....	21
五、视觉敏锐度.....	22
六、视觉速度.....	23
七、视觉能力的个人差异.....	23
第三节 视觉功效.....	23

第四节 光环境质量的评价标准	26
一、适当的照度水平	26
二、舒适的亮度比	29
三、宜人的光色,良好的显色性	30
四、避免眩光干扰	32
五、正确的投光方向与完美的造型立体感	38
习题	39
第三章 天然光环境	41
第一节 昼光光源	41
一、昼光的组成	41
二、天空亮度分布	42
三、光气候数据资料	44
四、昼光利用时数	46
第二节 采光窗	47
一、窗的类型和采光效果	47
二、窗玻璃的选择	53
第三节 天然光环境设计	55
一、设计的内容、步骤和原则	55
二、采光设计标准——天然光环境的质量评价	56
三、采光计算	59
四、天然光的控制与调节	70
五、室内常设辅助人工照明	72
习题	73
第四章 人工光环境	75
第一节 电光源	76
一、电灯的类别	76
二、灯的基本特性	76
三、白炽灯	77
四、荧光灯	79
五、高压汞灯	82
六、金属卤化物灯	82
七、高压钠灯	83
第二节 照明灯具与照明装置	85
一、照明灯具的光特性	85
二、照明灯具的分类	88
三、典型灯具	89
四、其他照明装置	92

第三节 人工光环境设计	98
一、设计内容及设计程序	98
二、照明系统	98
三、照明计算	102
四、照明经济与节能	117
第四节 光环境设计	119
一、工业建筑	119
二、办公建筑	121
三、博物馆和美术馆	123
四、体育馆	126
习题	130
第五章 光环境的测量	131
第一节 测量仪器	131
一、照度计	131
二、亮度计	132
第二节 室内光环境的现场测量	133
一、概述	133
二、照度测量	134
三、亮度测量	134
四、采光系数测量	136
五、反射比与透射比的测量	136
六、颜色测量	137
主要参考书目	138
附录一 灯具利用系数表	140
附录二 平行平面方位因数(AF)和垂直平面方位因数(af)	141
附录三 建筑光环境名词术语英汉对照表	143
附录四 基本符号表	148

第一章 光与颜色的基本概念

第一节 光的性质

光是以电磁波形式传播的辐射能,电磁辐射的波长范围很广,只有波长在 380nm^* 至 760nm 的这部分辐射才能引起光视觉,称为可见光(简称光)。波长短于 380nm 的是紫外线、 x 射线、 γ 射线、宇宙线;长于 760nm 的有红外线、无线电波等等。它们与光的性质不同,人眼是看不见的(图1-1)。

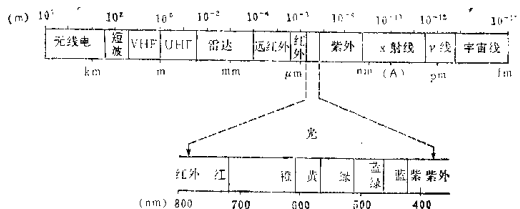


图 1-1 辐射波谱

不同波长的光在视觉上形成不同的颜色,例如 700nm 的光呈红色, 580nm 呈黄色, 470nm 呈蓝色。单一波长的光呈现一种颜色,称为单色光。日光和灯光都是由不同波长的光混合而成的复合光,它们呈白色或其他颜色。将复合光中各种波长辐射的相对功率量值按对应波长排列联结起来,就形成该复合光的光谱功率分布曲线,它是光源的一个重要物理参数。光源的光谱组成不但影响光源的表现颜色,而且决定被照物体的显色效果。

人眼对不同波长单色光的视亮度感受性也不一样,这是光在视觉上反映的另一特征。在光亮的环境中(适应亮度 $>3\text{cd}/\text{m}^2$),辐射功率相等的单色光看起来以波长 555nm 的黄绿光最明亮,并

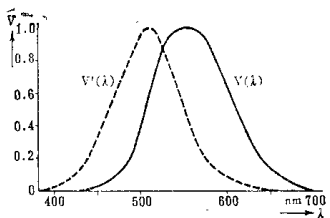


图 1-2 光谱光视效率
实线-明视觉;虚线-暗视觉

* nm 纳米, 或称毫微米, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ 。

且明亮程度向波长短的紫光 and 长波的红光方向递减。国际照明委员会(CIE)根据大量的实验结果,将视亮度感觉相等的波长为 λ_m 和 λ 的两个辐通量之比,定义为波长 λ 的单色光的光谱光视效率(也称视见函数),以 $V(\lambda)$ 表示, λ_m 选在最大比值等于1处,即 $\lambda=555$ 时, $V(\lambda)=1$,其他波长 $V(\lambda)$ 均小于1(图1-2)。这就是明视觉光谱光视效率。在较暗的环境中(适应亮度 <0.03 cd/m²时),人的视亮度感受性发生变化,以 $\lambda=510$ nm的蓝绿光最为敏感。按照这种特定环境条件确定的 $V'(\lambda)$ 函数称为暗视觉光谱光视效率(图1-2)。

CIE规定的 $V(\lambda)$ 和 $V'(\lambda)$ 函数是光度学计算和测量的重要基础。相对光谱灵敏度曲线符合这一函数的人或辐射接收器称为CIE标准光度观测者。

第二节 光 度 量

光环境的设计和评价离不开定量的分析和说明,这就需要借助于一系列的物理光度量来描述光源与光环境的特征。常用的光度量有光通量、照度、发光强度和亮度。

一、光通量

光通量是按照国际约定的人眼视觉特性评价的辐射能通量(辐射功率)。根据这一定义,光通量可以由辐射通量及 $V(\lambda)$ 函数导出:

$$\Phi = K_m \int \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad \text{lm} \quad (1-1)$$

式中: Φ ——光通量, lm;

$\Phi_{e,\lambda}$ ——波长为 λ 的单色辐射能通量, W;

$V(\lambda)$ ——CIE标准光度观测者明视觉光谱光视效率;

K_m ——最大光谱光视效能, lm/W。

光视效能 K 是描述光和辐射之间关系的量,它是与单位辐通量相当的光通量($K=\Phi_v/\Phi_e$)。但是, K 值是随光的波长而变化的, $K(\lambda)$ 的最大值 K_m 在 $\lambda=555$ nm处。根据一些国家权威实验室的测量结果,1977年国际计量委员会决定采用 $K_m=683$ lm/W。

光通量的单位是流明,符号为lm。在国际单位制和我国规定的计量单位中,它是一个导出单位。1流明是发光强度为1坎德拉的均匀点光源在1球面度立体角内发出的光通量。

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40瓦*白炽灯发射的光通量为350lm;一只40瓦*荧光灯发射的光通量为2100lm,比白炽灯多5倍多。

二、照度

照度是受照平面上接受的光通量的面密度,符号为 E 。若照射到表面一点面元上的光通量为 $d\Phi$,该面元的面积为 dA ,则

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{lx} \quad (1-2)$$

照度的单位是勒克斯,符号lx。1勒克斯等于1流明的光通量均匀分布在1平方米表面上所产生的照度,即 $1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$ 。勒克斯是一个较小的单位,例如:夏季中午日光下,地平面上照度可达 10^3lx ;在装有40瓦白炽灯的书写台灯下看书,桌面照度平均为 $200\sim 300\text{lx}$;

* 这里是指灯的耗电功率。

月光下的照度只有几个lx。

照度可以直接相加。如果房间里有4盏灯，它们对桌面上A点的照度分别为 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 ，则A点总照度 E_A 等于4个照度值之和，写成通用的表达式就是

$$E = \sum E_i \quad \text{lx} \quad (1-3)$$

照度的英制单位是英尺烛光，符号为 f_c 。 $1f_c = 1\text{lm}/\text{ft}^2 = 10.76\text{lx}$ 。目前只有美国等极少的国家还沿用英制单位。

三、发光强度

点光源在给定方向的发光强度，是光源在这一方向上立体角元内发射的光通量与该立体角元之商。符号为 I 。

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad \text{cd} \quad (1-4)$$

如果在有限立体角 Ω 内传播的光通量 Φ 是均匀分布的，上式可写成

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad \text{cd} \quad (1-5)$$

式中的 Ω 为立体角。其概念在图1-3中说明。以任一锥体顶点 O 为球心，任意长度 r 为半径作一球面，被锥体截取的一部分球面面积为 S ，则此锥体限定的立体角 Ω 为：

$$\Omega = \frac{S}{r^2} \quad (1-6)$$

立体角的单位是球面度(符号sr)。当 $S=r^2$ 时， $\Omega=1\text{sr}$ 。因为球的表面积为 $4\pi r^2$ ，所以立体角的最大数值为 4π 球面度。

发光强度的单位是坎德拉(Candela)，符号cd。在数量上1坎德拉等于1流明每球面度(1cd=1lm/sr)。

坎德拉是我国法定单位制与国际SI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如下：“一个光源发出频率为 $540 \times 10^{12}\text{Hz}$ *的单体辐射，若在一定方向上的

辐射强度为 $\frac{1}{683}\text{W/sr}$ ，则光源在该方向上的发光强度为1cd”。

发光强度常用于说明光源和照明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40瓦白炽灯泡发出350流明光通量，它的平均光强为 $350/4\pi = 28\text{cd}$ 。在灯泡上面装一盏白色搪瓷平盘灯罩，灯的正下方发光强度能提高到70~80cd。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cd。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了。

四、光亮度

光源或受照物体反射的光线进入眼睛，在视网膜上成象，使我们能够识别它的形状和明暗。视觉上的明暗知觉取决于进入眼睛的光通量在视网膜物象上的密度——物象的照度。这说明，确定物体的明暗要考虑到两个因素：①物体(光源或受照体)在指定方向上的投影面积

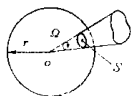


图 1-3 立体角定义

* 对应于空气中波长555nm的单体辐射，这是人眼最敏感的波长。

——这决定物象的大小；②物体在该方向上的发光强度——这决定物象上的光通量密度，根据这两个条件，我们可以建立一个新的光度量——光亮度。

光亮度是一单元表面在某一方向上的光强密度。它等于该方向上的发光强度与此面元在这个方向上的投影面积之商，以符号 L 表示。

$$L = \frac{dI_{\theta}}{dA \cdot \cos\theta} \quad \text{cd/m}^2 \quad (1-7)$$

应当注意，光亮度常常是各方向不同，所以在谈到一点或一个有限表面的光亮度时需要指明方向。

(1-7)式定义的光亮度是一个物理量，它与视觉上对明暗的直观感受还有一定的区别。

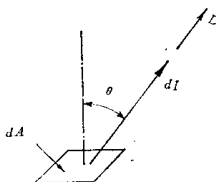


图 1-4 亮度概念

例如在白天和夜间看同一盏交通信号灯时，感觉夜晚灯的亮度高得多。这是因为眼睛适应了晚间相当低的环境亮度的缘故。实际上，信号灯的光亮度并没有变化。由于眼睛适应环境亮度，物体明暗在视觉上的直观感受就可能比它的物理光亮度高一些或低一些。我们把直观看去一个物体表面发光的属性称为“视亮度”(Brightness 或 Luminosity)，这是一个心理量，没有量纲。它与“光亮度”这一物理量有一定的相关关系。

光亮度简称亮度。它的法定单位是坎德拉每平方米(cd/m^2)。在照明工程应用中，亮度的单位繁多，常用单位与 cd/m^2 的换算关系如下：

$$1 \text{ 尼特 (nt)} = 1 \text{ cd/m}^2$$

$$1 \text{ 阿熙提 (asb)} = \frac{1}{\pi} (\text{cd/m}^2)$$

$$1 \text{ 熙提 (sb)} = 10^4 \text{ cd/m}^2$$

$$1 \text{ 朗伯 (L)} = \frac{10^4}{\pi} (\text{cd/m}^2)$$

$$1 \text{ 英尺朗伯 (fL)} = 3.426 \text{ cd/m}^2$$

太阳的亮度达 $2 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ ，白炽灯丝的亮度约为 $(3 \sim 5) \times 10^6 \text{ cd/m}^2$ ，而普通荧光灯的亮度只有 $6 \sim 8 \times 10^3 \text{ cd/m}^2$ 。

五、小结

本节介绍的四个光度量有不同的应用领域，并且可以互相换算，用专门的光度仪器进行测量。光通量表征光源辐射能量的大小。发光强度用来描述光通量在空间的分布密度。照度说明受照物体的照明条件(受光面光通密度)，它的计算和测量都比较简单，在光环境设计中广泛应用这一概念。亮度能表示光源或受照物体的明暗差异，它与“视亮度”既有联系，又有区别。

为了便于比较和记忆，兹将四个基本光度量的定义与单位列表如下：

表 1-1 光度量的定义与单位

名 称	符 号	定 义 公 式	单 位 (符号)
光 通 量	Φ	$\Phi = K_m \int \Phi_{e, \lambda} V(\lambda) d\lambda$ 或 $d\Phi = I \cdot d\omega$	流明(lm)
发光强度	I	$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$	坎德拉(cd)
照 度	E	$E = \frac{d\Phi}{dA}$	勒克斯(lx) = lm/m ²
亮 度	L	$L = \frac{dI_\theta}{dA \cdot \cos\theta}$	坎德拉每平方米(cd/m ²)

第三节 光的反射与透射

借助于材料表面反射的光或材料本身透过的光,人眼才能看见周围环境中的人和物。也可以说,光环境就是由各种反射与透射光的材料构成的。

光在均匀介质中沿直线传播,它在空气中的传播速度接近 3×10^8 米/秒(30万公里/秒)。在不同介质中光速的精确值列于表1-2。

表 1-2 光速与折射指数

介 质 种 类	光 速 (m/s)	折 射 指 数
真 空	2.99792×10^8	1.000000
空 气	2.99734×10^8	1.000293
水	2.24900×10^8	1.333000
玻 璃	1.98210×10^8	1.512500

光在传播过程中遇到新的介质时,会发生反射、透射与吸收现象。一部分光通量被介质表面反射(Φ_r),一部分透过介质(Φ_t),余下的一部分则被介质吸收(Φ_a),见图1-5。根据能量守恒定律,入射光通量(Φ_i)应等于上述三部分光通量之和,

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a \quad \text{lm} \quad (1-8)$$

将反射光通量与入射光通量之商,定义为反射比(反射系数),以 ρ 表示:

$$\rho = \Phi_r / \Phi_i \quad (1-9)$$

透射光通量与入射光通量之商,定义为透射比(透射系数),以 τ 表示:

$$\tau = \Phi_t / \Phi_i \quad (1-10)$$

被吸收的光通量与入射光通量之商,定义为吸收比(吸收系数),以 α 表示:

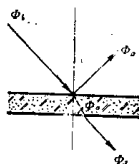


图 1-5 光通量的反射、透射与吸收

$$\alpha = \Phi_0 / \Phi_i \quad (1-11)$$

$$\text{于是} \quad \rho + \tau + \alpha = 1 \quad (1-12)$$

从照明角度来看,反射比或透射比高的材料才有使用价值。表1-3列有照明工程常用材料的 ρ 和 τ 值,可供比较参考。除了定量的分析以外,还需要深入了解各种材料反射光或透射光的分布模式,以求在光环境设计中正确运用每种材料的不同控光性能,获得预期的照明效果。

表 1-3 照明工程常用材料的 ρ 和 τ 值

材 料 名 称	颜 色	厚 度 (mm)	ρ	τ
1 透光材料				
普通玻璃	无	3	0.08	0.82
普通玻璃	无	5~6	0.08	0.78
磨砂玻璃	无	3~6	—	0.55~0.60
乳白玻璃	白	1	—	0.60
有机玻璃	无	2~6	—	0.85
小波玻璃制瓦	绿	—	—	0.38
玻璃钢采光罩	本色	三~四层布	—	0.72~0.74
聚苯乙烯板	无	3	—	0.78
聚苯乙烯板	本色	2	—	0.60
聚碳酸酯板	无	3	—	0.74
铁窗纱	绿	—	—	0.70
2 建筑饰面材料				
大白粉刷	白	—	0.75	—
乳胶漆	白	—	0.84	—
调和漆	白,米黄	—	0.70	—
调和漆	中黄	—	0.57	—
普通砖	红	—	0.33	—
水磨砂浆抹面	灰	—	0.32	—
混凝土地面	深灰	—	0.21	—
水磨石地面	白间绿	—	0.66	—
水磨石地面	白间黑灰	—	0.52	—
胶合板	本色	—	0.58	—
3*金属材料及饰面				
光学镀膜的玻璃	—	—	0.83~0.99	—
阳极氧化光学镀膜的铝	—	—	0.75~0.97	—
普通铝板抛光	—	—	0.80~0.70	—
酸洗或加工成毛面的铝板	—	—	0.70~0.85	—
铝	—	—	0.60~0.65	—
不锈钢	—	—	0.55~0.65	—
搪瓷	白	—	0.65~0.80	—

* 材料来源——金属材料引自“IES Lighting Hand book 1981”,其余摘自《工业企业采光设计标准》(TJ33-79)附录。

一、反射

辐射由一个表面返回,组成辐射的单色分量的频率没有变化,这种现象叫做反射。反射

光的强弱与分布型式取决于材料表面的性质，也同光的入射方向有关。例如，垂直入射到透明玻璃板上的光线约有8%的反射比；加大入射角度，反射比也随之增大，最后会产生全反射。

反射光的分布型式有规则反射与扩散反射两大类。扩散反射又可细分为定向扩散反射、漫反射、混合反射等。

1. 规则反射

规则反射也叫镜反射，其特征是光线经过反射之后仍按一定的方向传播，立体角没有变化。规则反射的规律为：①入射光线与反射光线以及反射表面的法线同处于一个平面内；②入射光与反射光分居法线两侧，入射角等于反射角(图1-6a)。

光滑密实的表面，如玻璃镜面和磨光的金属表面形成规则反射。在照明工程中常利用规则反射进行精确的控光，如制造各种曲面的镜面反光罩获得需要的光强分布，提高灯具效率。几乎所有的节能灯具都使用这类材料做的反光罩，其中有阳极氧化或抛光的铝板、不锈钢板、镀铬铁板、镀银或镀铝的玻璃和塑料等。

2. 定向扩散反射

扩散反射保留了规则反射的某些特性，即在产生规则反射的方向上，反射光最强，但是反射光束被“扩散”到较宽的范围(图1-6b)，经过冲砂、酸洗或锤点处理的毛镀金属表面具有定向扩散反射的特性。

3. 漫反射

漫反射的特点是反射光的分布与入射光方向无关，在宏观上没有规则反射，反射光不规则地分布在所有方向上，(图1-6c)。无光泽的毛面材料或由微细的晶粒、颜料颗粒构成的表面产生漫反射。可以把这些微粒看作是单个的镜反射器，但是由于微粒的表面处在不同的方向，所以将光反射到许多角度上。

若反射光的光强分布与入射光的方向无关，而且正好是切于入射光线与反射表面交点的一个圆球，这种漫反射称为均匀漫反射(图1-6d)。其反射光的最大发光强度在垂直于表面的法线方向，其余方向的光强同最大光强有以下关系：(图1-7)

$$I_{\theta} = I_0 \cdot \cos \theta \quad \text{cd} \quad (1-13)$$

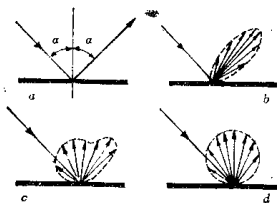


图 1-6 反射光的分布型式

a-规则反射； b-定向扩散反射； c-混合反射； d-均匀漫反射

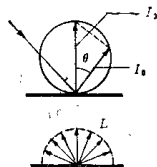


图 1-7 均匀漫反射材料的光强分布与亮度分布

式中: I_θ ——反射光与表面法线夹角为 θ 方向的光强, cd;

I_0 ——反射光在反射表面法线方向的最大光强, cd。

上式称为朗伯余弦定律。符合朗伯定律的材料叫朗伯体。这类材料无论入射光的方向如何, 其表面各方向上的亮度都是相等的。氧化镁、硫酸钡、石膏等具有这种特性。建筑工程常用的大部分无光泽饰面材料, 如粉刷涂料、乳胶漆、无光塑料墙纸、陶板面砖等都可以近似地看作均匀漫反射材料。

按照朗伯定律可以导出由照度计算均匀漫反射材料表面亮度的简便公式如下:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad \text{cd/m}^2 \quad (1-14)$$

对均匀漫透射材料有

$$L = \frac{\tau \cdot E}{\pi} \quad \text{cd/m}^2 \quad (1-15)$$

式中: L ——反射光或透射光表面亮度(单位: cd/m^2);

ρ ——材料反射比;

τ ——材料透射比;

E ——材料表面的照度(单位 lx)。

上式是光环境设计中常用的平均亮度计算公式。

【例1-1】某房间墙壁用乳胶漆饰面, 其反射比 $\rho=0.70$, 已知墙面平均照度为 50l x , 求墙面平均亮度。

【解】按 1-14 式计算, 墙面平均亮度为:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} = \frac{0.70 \times 50}{3.14} = 11.15 \text{cd/m}^2$$

若用阿照提亮度单位, 则

$$L = \rho \cdot E = 0.70 \times 50 = 35 \text{asb}$$

4. 混合反射

多数的材料表面兼有规则反射和漫反射的特性, 这称为混合反射。光亮的搪瓷表面呈现漫反射与镜面反射结合的特性。在漫反射表面涂一层薄的透明清漆, 当光入射角很小时, 近似漫反射; 入射角加大, 约有 5~15% 的入射光为镜面反射; 入射角很大时, 则完全是镜面反射。

二、透射

光线通过介质, 组成光线的单色分量频率不变, 这种现象称为透射。玻璃、晶体、某些塑料、纺织品、水等都是透光材料, 能透过大部分入射光。材料的透光性能不仅取决于它的分子结构, 还同它的厚度有关。非常厚的玻璃或水将是不透明的, 而一张极薄的金属膜或许是透光的, 至少可以是半透光的。

材料透射光的分布型式也可分为规则透射、定向扩散透射、漫透射和混合透射四种(见图 1-8)。透明材料属于规则透射, 在入射光的背侧, 光源与物象清晰可见。磨砂玻璃为典型的定向扩散透射, 在背光的一侧仅能看见光源模糊的影象。乳白玻璃具有均匀漫透射的特性, 整个透光面亮度均匀, 完全看不见背侧的光源和物象。在透明玻璃上均匀地喷一层薄

的白漆，其透光性能则近于混合透射。如将白炽灯放在这种玻璃的一侧，由另一侧看去，漫透射形成的表面亮度相当均匀，同时灯丝的象也历历在目。

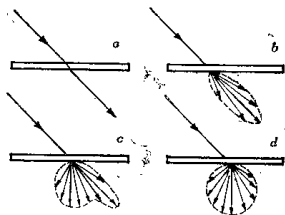


图 1-8 透射光的分布
a-规则透射； b-定向扩散透射； c-漫透射； d-均匀漫透射

三、折射

光在透明介质中传播，当从密度小的介质进入密度大的介质时，光速减慢；反之，光速加快。由于光速的变化而造成光线方向的改变，这就是折射。光的折射规律是：①入射线、折射线与分界面的法线同处于一个平面内，且分居于法线的两侧；②入射角正弦和折射角正弦的比值，对确定的两种介质来说，是一个常数。

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-16)$$

上式也可以写成 $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin \gamma$

(1-16a)

式中： n_1 ——第一种介质的折射率；

n_2 ——第二种介质的折射率；

i ——入射角(见图 1-9)；

γ ——折射角。

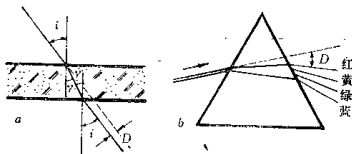


图 1-9 光的折射

a-光通过平行表面的折射； b-光通过三角形棱镜的折射

由公式 1-16 可以看出，光线通过两种介质的界面时，在折射率大的一侧，光线与法线的夹角较小。利用折射能改变光线方向的原理制成的折光玻璃砖、各种棱镜灯罩，能精确地控制光分布(图 1-10)。

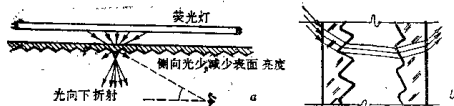


图 1-10 光折射的应用
a-棱镜玻璃灯罩； b-折光玻璃砖

此外，当一束白光通过折射棱镜时，由于组成白光的单色光频率不同，则因折射而分离成各种颜色，这称为色散。有金属镀膜的磨光棱镜玻璃灯饰部件，就是因为色散而呈现出五光十色，装饰效果华丽夺目。(图 1-9b)

第四节 颜 色

颜色同光一样，是构成光环境的要素。颜色设计需要运用物理学、心理学及美学等多方面的规律。本节主要讨论颜色的基本特性、表色系统及规定色表与显色性能的方法。这些是颜色科学的基础。

一、颜色的基本特性

1. 颜色的形成

颜色来源于光。可见光包含的不同波长单色辐射在视觉上反映出不同的颜色。表 1-4 是各种颜色的波长和光谱的范围。在两个相邻颜色范围的过渡区，人眼还能看到各种中间颜色。

一个光源发出的光经常是由许多不同波长单色辐射组成的，每个波长的辐射功率也不一样。光源的各单色辐射功率，按波长的相关分布称作光源的光谱功率分布(或称光谱能量分布)，它决定着光的色表和显色性能。图 1-11 是日光、白炽灯和荧光灯三种光源的相对光谱功率分布曲线。

表 1-4 光谱颜色波长及范围

颜 色	波 长(nm)	范 围(nm)
红	700	640~750
橙	620	600~640
黄	580	570~600
绿	510	480~550
蓝	470	450~480
紫	420	400~450

物体色是物体对光源的光谱辐射有选择地反射或透射对人眼所产生的感觉。例如，用白光照某一表面，它吸收白光包含的绿光和蓝光，反射红光，这一表面就呈红色。若用蓝光照射同一表面，它将呈现黑色，因为光源中没有红光成分。反之，若用红光照射该表面，它将呈现出鲜艳的红色。这个例子说明，物体色决定于物体表面的光谱反射率，同时，光源的光