

建筑光学

陈 敏 编 著

中国工业出版社

本书是一本全面介绍建筑光学的基本理论的著作，内容包括光学的基本概念、建筑日照、天然照明、建筑物的天然采光设计、人工照明、能见度与感觉、光学材料等七篇，而以建筑日照、天然采光和人工照明等部分为重点，较详尽地阐述了有关这些问题的一些重要理论、计算方法和图表数据，并于各章设有计算例题，以作实际运用的范例。因此，本书可供国内各大专院校有关专业师生作教学参考书；对建筑设计工作人员和建筑科学研究人员进修建筑光学理论，也有一定参考价值。

建 筑 光 学

陈 蛟 编 著

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑（北京修睦园路丙10号）

中国工业出版社出版（北京修睦园路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $10^{1/16}$ ·字数227,000

1962年12月北京第一版·1962年12月北京第一次印刷

印数0001—1,746·定价（10-7）1.70元

*

统一书号：15165·1980（建工-248）

前 言

建筑光学在建筑科学体系中占有很重要的地位。

誰都知道，太阳光綫是人类生存所不可缺少的东西，而建筑是人类从事各种活动和休息的处所。因此，阳光和建筑的关系是极为密切的。阳光在建筑方面的利用或遮断，是现代建筑设计的基本条件之一；特別在城市规划中，对于建筑物的方位、房屋的間距，以及城市綠化等問題，若不考虑阳光的影响，則其設計是不会令人滿意的。

建筑采光处理得适当与否，在很大程度上直接影响着建筑物的功能。建筑物的光綫如果設計得合理，照度适当，就可以减少居住者的疲劳，提高工作效率，反之甚至可以危害人們的健康。

建筑造型主要是由体形和色彩通过人的视觉来具体表现的，因此光綫和视觉生理在这里面起着很重要的作用。在建筑型式的設計中，假使沒有考虑到视觉法則或视觉特点，就不仅会使視条件遭到破坏，而且往往还会产生建筑型式在视觉中被歪曲的不良效果。

因此，建筑光学在现代建筑科学研究和建筑设计实践中日益为人們所重視。但由于这门科学在不少方面还必须应用物理学、天文学、生理学、心理学以及美学等方面的一些知識，因而給研究工作带来了不少困难，这就使得这门科学在进展上較其他建筑科学为慢。目前在我国，对建筑光学作全面而系統的介绍和深入探討的書籍还出版得不多，远远滿足不了建筑界的迫切需要。作者有鉴于此，不揣学識微薄，特編此書，试图弥补这个空白，希望能收到“拋磚引玉”的效果。書中难免有不够甚至錯誤的地方，請讀者随时提出指正。

目 录

前 言

第一篇 光学的基本概念

第一章 基本概念和定义	(1)
§ 1 光的一般概念	(1)
§ 2 光的单位系统	(1)
§ 3 物体的光学性质	(11)
第二章 视觉原理	(17)
§ 4 眼及其工作	(17)
§ 5 视觉的功能	(19)
§ 6 视错觉	(23)
第三章 太阳的位置	(33)
§ 7 太阳位置的变化	(33)
§ 8 太阳位置和时刻	(36)
§ 9 太阳位置的计算方法	(38)
§ 10 气象与日照	(50)

第二篇 建筑日照

第一章 建筑与日照	(54)
§ 11 阴影曲线	(54)
§ 12 建筑物的形状与日照及阴影	(58)
§ 13 倾斜地上的阴影	(65)
§ 14 窗口方向与日照的关系	(69)
§ 15 窗口方向与日照面积	(70)
§ 16 窗形与日照面积	(74)
§ 17 建筑物的排列	(76)
§ 18 建筑物主轴的方位	(79)

第二章 城市道路和庭園設計中的日照問題	(82)
§ 19 概說	(82)
§ 20 道路寬度和建築物高度與日照	(82)
§ 21 道路方向與日照	(91)
§ 22 庭園設計與日照	(92)
第三章 太陽輻射熱與日照	(95)
§ 23 太陽輻射熱	(95)
§ 24 太陽常數	(95)
§ 25 測定太陽輻射熱的方法	(96)
§ 26 地上的日射量	(101)
§ 27 大氣的透過率	(101)
§ 28 大氣透過率的变化	(106)
§ 29 水平面上的日射量	(107)
§ 30 垂直面上所受的日射量	(117)
§ 31 傾斜面上的日射量	(125)
第四章 紫外綫	(126)
§ 32 紫外綫的衛生價值	(126)
§ 33 紫外綫與大氣的吸收	(126)
第五章 日照調整	(128)
§ 34 日照調整的意義	(128)
§ 35 日照調整	(128)

第三篇 天然照明

第一章 天然光源和室內照明條件的決定因素	(137)
§ 36 天然光源	(137)
§ 37 直射陽光的照度	(138)
§ 38 天空光的照度	(140)
§ 39 天然照度係數	(148)
第二章 天然照明的計算	(150)
§ 40 矩形及圓形的等亮度完全擴散面光源的直接照度	(151)
§ 41 考慮天空亮度不均勻時的計算法	(162)
§ 42 且尼留克圖表法	(165)

§ 43	R, R, O 、平均值的決定和房間內反射光的計算	(172)
§ 44	光學計算的進行步驟	(176)
§ 45	天然照度的測定	(179)
第三章	天然照度標準	(180)
§ 46	天然照度標準的原則	(180)
§ 47	基礎標準資料	(182)
§ 48	計算例題	(188)
§ 49	光候係數	(198)
第四章	天然採光設備的維護	(201)
§ 50	天然採光設備的維護	(201)
第五章	窗戶式樣對房屋照度的影響	(202)
§ 51	窗戶式樣	(203)
§ 52	矩形窗的照度分布	(205)

第四篇 建築物的天然採光設計

第一章	工業廠房的天然採光設計	(208)
§ 53	工業廠房採光的意義	(208)
§ 54	工業廠房的天然採光設計	(209)
§ 55	無窗、無天窗的工業廠房	(213)
第二章	展覽館、博物館的天然採光設計	(214)
§ 56	館的方位	(214)
§ 57	陳列室的照度	(215)
§ 58	反射問題	(218)
§ 59	採光型式	(223)
§ 60	雕刻陳列室的採光	(235)
§ 61	光綫調節裝置	(238)

第五篇 人工照明

第一章	人工照明的光源	(241)
§ 62	白熾燈的照明標準	(241)
§ 63	瓦斯放電燈和熒光燈	(242)
§ 64	設計房間內人工照明時所需解決的問題	(244)

§ 65 灯具	(246)
§ 66 工业厂房的照明	(252)
§ 67 教学房屋的照明	(255)
§ 68 幼儿园和托儿所的照明	(257)
§ 69 医疗房屋的照明	(257)
§ 70 居住房屋的照明	(258)
§ 71 商店房屋的照明	(259)
§ 72 展览馆的人工照明	(263)
第二章 光筑	(238)
§ 73 建筑照明一般情况	(268)
§ 74 建筑立面的照明方法	(269)
§ 75 屋内光筑	(271)

第六篇 能見度与感觉

第一章 建筑物和构筑物設計的能見度	(276)
§ 76 眼睛移动的作用与視感	(276)
§ 77 希腊建筑的錯覺矯正	(279)
§ 78 决定能見度的媒介变数	(280)
第二章 光和形	(285)
§ 79 建筑形式的感觉和照明的关系	(285)

第七篇 光学材料

第一章 光学材料的分类	(291)
§ 80 建筑材料的光学分类	(291)
第二章 光学材料	(291)
§ 81 建筑玻璃	(291)
§ 82 玻璃的光学性質	(300)
§ 83 墙壁材料的反射	(304)
§ 84 材料的透过率和反射率的測定	(306)
§ 85 发光材料	(308)
§ 86 短时发光材料在建筑方面的应用	(310)
参考文献	(312)

第一篇 光学的基本概念

第一章 基本概念和定义

§1 光的一般概念

关于光的本质，曾有过两种不同的学说：微粒学说和波动学说。

微粒学说认为光这种东西，是从光源放射之后向所有的方向直线飞散的微小粒子的流动。而波动学说则认为光这种东西是空间中发生的电磁波。

微粒学说说明光学中某些现象法则（如光的直线传播、光的放射及吸收法则）；波动学说则说明其他的现象法则（如偏光、扩散、迴折、干涉等）。这两种概念是互相联系、互相为补的。当解释某种现象之际，可以用微粒的概念，而当解释其他现象时，可以用波动的概念。但是，对上述两种学说的详细研究表明，把光的微粒性和波动性对立起来，并企图从这两种概念中的某一概念来解释全部已知的现象，是不正确的。对于事情的真正了解乃在于微粒概念和波动概念的統一。这就形成了量子论。在量子论里，波动的特性和微粒的特性结合成为统一的概念。

§2 光的单位系统

当温度不同的两个物体互相接触时，热量将从比较高温的物体传达到低温的物体，直至两者之温度相等为止。物体的热的传播方法有三种：即物体（或是围绕着的媒质）的热传导、对流（由于液体的或气体的中间媒质）和辐射（由于气体的或真空的

中間媒質)。以輻射傳達的能稱為輻射能，典型的例子就是與大地隔着真空空間的太陽，以其自身的輻射能加溫于大地。

一般而言，物體不是在絕對零度（ -273°C ）時，自然會發出一定的輻射：溫度愈高，則輻射愈強，到赤熱狀態時，就達到發光的程度。溫度繼續提高，顏色便會從橙變黃，以至變為白色為止。這就是所謂白熱狀態。這樣隨着溫度的變化而發出有規則的輻射的現象，稱為溫度輻射。

輻射的特征是能量和光譜組成。輻射的能量就是物體在單位時間內的輻射能，它的計算單位是瓦（ W ）。輻射的光譜組成決定于輻射的波長（ λ ）。輻射的波長變動的範圍很大——從千分之幾微米直至几百米（圖1a）。光學僅僅是在研究其中能引起光感的自 $0.4\sim 0.76$ 微米（ μ ）範圍內這一極小部分的輻射（圖1b）。在這個範圍內的光譜部分稱為可視輻射部分。

每一單色即相當于可視光譜範圍內從紫到紅的各種光感的一定波長的輻射。顏色與波長的关系如圖1b所示。

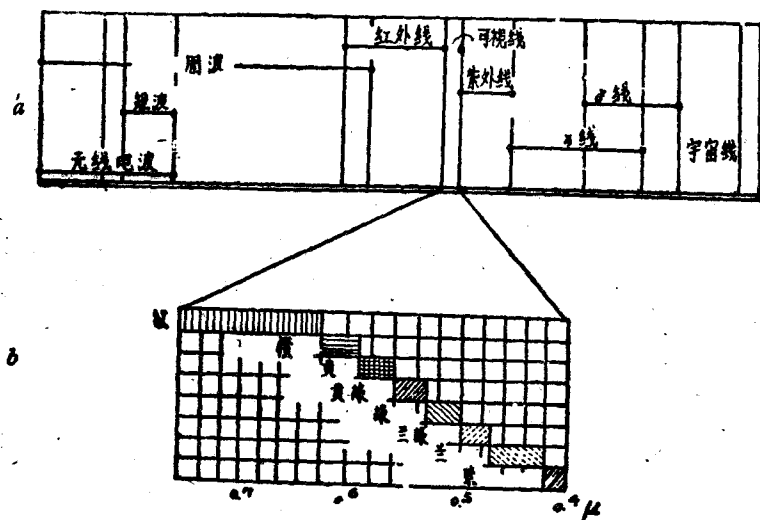


圖 1 輻射能的總光譜和可視光譜

图 1 的解說

輻射型式	性 質 · 特 征	每 秒 振 動 數	
		从	到
厘米和分米的周波	被媒質吸收較少，应用于定向無線电通訊	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^8$
無線电波： a) 超短波 b) 短 波 B) 長 波	应用于無線电通訊，在所有媒質內极少被吸收	$3 \cdot 10^8$ $3 \cdot 10^7$ $3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^7$ $3 \cdot 10^6$ 0
紅外線	极少光电效果和化学作用，不引起視感，易透过混濁的媒質（霧、烟、灰尘等），显出热的作用	$4 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{12}$
可視綫	能引起視感，其他作用和紫外綫相同，但极为貧弱	$7.5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{14}$
紫外綫	极易为所有物体（即使是气体）所吸收，有强烈的光电效果和强大的化学作用	$1.5 \cdot 10^{16}$	$7.5 \cdot 10^{14}$
γ —綫 x —綫	对于可視光不透过的物体（即使是金屬）有很大的透过能力，在电荷上有强的机械作用力，微分子性質表現强烈	10^{21}	$7.5 \cdot 10^{18}$
兰琴綫	与 x —綫性質相同，但表現較弱，有强烈的物理作用	$6 \cdot 10^{19}$	$1.5 \cdot 10^{18}$

輻射綫在光譜上的顏色特征，是漸次地从一种顏色轉变到另一种顏色。这种轉变造成大量的各种不确定的顏色，因此采用图 1b 中所示的带有条件性質的可視輻射綫的划分。

輻射能的光譜可視部分分配于視感上极不規則。多数的經驗确定，当光綫能力相同而波長不同时，眼睛的感觉亦不相同。

强度相同的單色輻射綫，其最大視感是波長 $\lambda = 0.556 \mu$ 的黃—綠色，此时視感度为 100%。图 2 所示为各种波長的輻射綫的相对視感度（或称相对亮度）曲綫。曲綫的特征显示出，在輻射綫的波長中，靠近光譜的可視部分的界限的，引起的視感最小。

表 1 引用了国际照明委员会所采用的、按照多数观测数字的平均值得出的相对亮度 v_0 值。

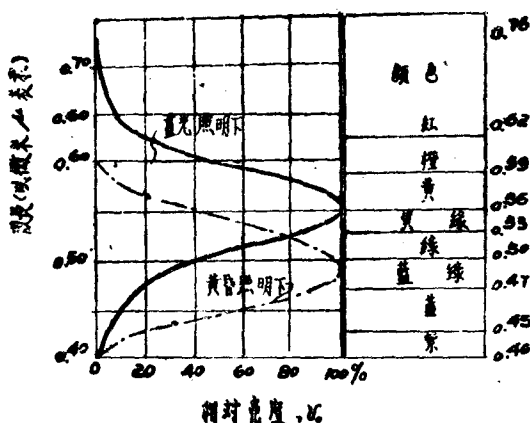


图 2 单色辐射线相对亮度曲线

辐射能的强度可决定于在单位时间内灼热体所发出的能量。这个数值称为放射能的能量，以瓦测定之。由此可见辐射能能量单位不可直接用于衡量光能能量。光能能量决定于每一单色辐射的能量乘以它的相对亮度 v_0 之值。总计光谱可视部分范围内所得之乘积，即得出人眼的标准光感所衡量的辐射能能量。

单色辐射线的相对亮度 v_0 与波长 λ 的关系

表 1

λ	v_0	λ	v_0
0.40	0.0004	0.56	0.995
0.43	0.0116	0.59	0.757
0.47	0.091	0.62	0.381
0.50	0.323	0.76	0.00006
0.53	0.862		

从光源发出的光量称为光束 (F)，它是由光感衡量的辐射能能量。决定光束的数值不仅属于物理学范围，而且属于生理学范围。

因为辐射能量以瓦表示，故采用当相对亮度 v_0 等于 1 时（即：

波長 $\lambda = 0.556 \mu$) 輻射 1 瓦作為光束單位, 稱為光瓦 (w_0)。

光的單位根據視感度曲線和光與能間的輻射指標的量的關係而定。在光學上, 目前通常採用一種實用單位, 稱為流明 (lm)。它和光瓦之間存在如下關係:

$$1 \text{ 流明 } (lm) = 0.00161 \text{ 光瓦 } (w_0)$$

或:
$$1 lm = \frac{1}{621} w_0$$

光量——一定時間內通過的光的總量稱為光量 (Q)。光量表示光束與時間的關係, 其單位為流明時 ($lm \cdot h$), 即光束與時間之乘積。光束隨時間而變時, 光量 Q 由下式求得:

$$Q = \int_0^t F dt \quad (1)$$

若在指定時間內光束不變, 則:

$$Q = Ft \quad (2)$$

點光源(當光源的大小與光源至被照面間的距離比較, 光源相形甚小時, 稱為點光源)的能量所決定的光束在空間內分佈是不平均的, 因此光束的大小, 仍然不能完全衡量光源。為了衡量光源的輻射, 就需要知道分佈在空間內的光束密度, 即各方向的光束的角密度。這稱為光源的光度 (I)。

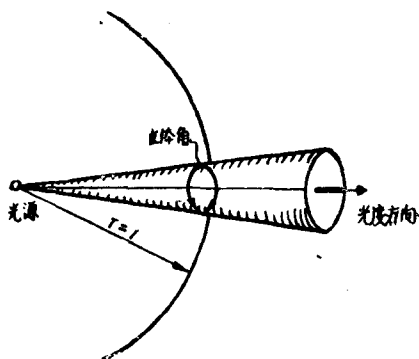


圖 3 光度概念圖

光源在某方向的光度, 就是該方向的光源的光束角密度, 可由光束 dF 與光束分佈的立體角 $d\omega$ 之比決定 (圖3):

$$I = \frac{dF}{d\omega}$$

立体角 ω 內之光束 F 是平均分布时:

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (3)$$

式中:

ω ——立体角, 是它在任意半径 r 的球面上切出的面积 S 对此半径的平方的比值 (图 4), 即:

$$\omega = S / r^2$$

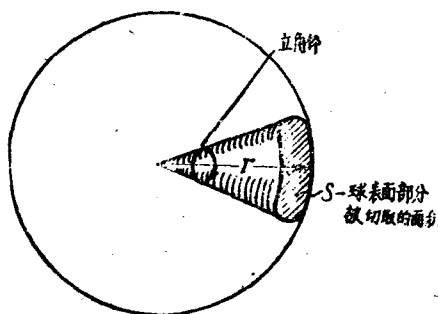


图 4 立体角的概念图

立体角的单位是球面度 (Sr), 这是由立体角在单位半径 ($r = 1.0$) 的球表面上, 当切取的面积为 $S = r^2$ 时所得。

若在 (3) 式中以流明表光束 F , 而以球面度表立体角 ω , 则光度 I 可以国际燭 (c) 表之。目前苏联所采用的光度单位

“新燭光”, 其值可以国际燭乘以如下之系数求得: 1.019——对于炭絲灯; 1.006——对于一般的鎢絲灯; 0.994——对于充气灯; 1.0——对于日光灯。

因此国际燭即表示点光源在球面度为 1 时的立体角內所发射各方向均等的 1 流明的光度。

光源的光束 F 与全部立体角 $4\pi = 12.57$ 球面度之比, 即为平均球面光度 (I_0):

$$I_0 = \frac{F}{4\pi}$$

除光度外, 在光学上衡量光束角密度, 多采用决定表面光束密度的照度。

投射到表面上的光束密度和被照面的光束密度是有区别的。

投射光束 dF 与被照面的面积 dS 之比称为照度 (E)。

$$E = \frac{dF}{dS}$$

当光束在表面上是平均分布时:

$$E = \frac{F}{S} \quad (4)$$

照度的测定单位为福特 (ph)。当 $1lm$ 的光束平均分布地投至面积为 1厘米^2 的被照面上时, 照度等于 $1ph$, 即 $1ph$ 等于 $1lm$ 除以 1厘米^2 。

照度测定的实用单位为勒克斯 (lx), 等于 $1lm$ 平均分布于面积为 1米^2 上的表面光束密度。

兹令光源的照射面与光源中心轴成 α 角倾斜时的光度为 I_a 。当从被照面之一点观察光源, 其角度甚小时, 这样的点光源可取作立体角的顶点 (图 5)。

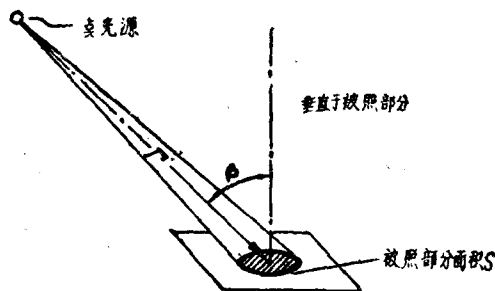


图 5 从点光源决定照度的概念图

故

$$E = \frac{dF}{dS} = \frac{I_a d\omega}{dS}$$

但

$$dS = \frac{d\omega r^2}{\cos\beta}$$

故

$$E = \frac{I_a \cos\beta}{r^2} \quad (5)$$

这个仅对于点光源才正确的关系称为距离自乘法則。

被輻射表面單位面积的反射光束 dF_p 与單位面积 dS 值之比，称为表面上任意一点的发光度 (R)，即：

$$R = \frac{dF_p}{dS}$$

对于光束分布平均时：

$$R = \frac{F_p}{S} \quad (6)$$

上述之 (6) 式对于自身发光的表面和反射或透过的任意光源的光束的表面都同样适用。

发光度的測定單位为拉特福特 (rph)。当 1 厘米² 的发光面平均发出等于 1 lm 的光束时，其发光度即等于 1 rph 。

例題 1:

有一建筑物，在距离此建筑物 100 米处 以 光度 $I = 500,000c$ 的投光机平均照射建筑物的立面部分，已知投光机的光綫投至建筑物上与水平綫成 60° 角，求該建筑物立面的照度。

解答：立面部分的照度为：

$$E = \frac{500,000 \times \cos 60^\circ}{100^2} = 25lx$$

例題 2

有光束 F 等于 500 lm ，平均照射在面积为 5×5 米² 的建筑物立面部分，已知建筑物立面有反射 50% 投射光束的鮮明的粉刷，求該部分的照度和发光度。

解答：照度 $E = \frac{500}{25} = 20lx$

发光度 $R = \frac{500 \times 0.5}{250,000} = 0.001rph$

亮度 (B) 衡量光源和被照面的发光度，是決定視感的基本值。

視感强度决定于投至眼睛的光束的大小，即根据发光面送至

眼睛的光度 I_a 而定(图6), I_a 值則随投影面积 $S \cos \alpha$ 及其亮度 B_a 而变化。

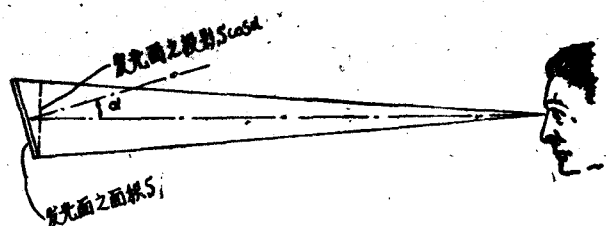


图6 决定亮度的概念图

对于单位的平面面积 dS :

$$dI_a = B_a dS \cos \alpha$$

由此

$$B_a = \frac{dI_a}{dS \cos \alpha} \quad (7)$$

因此, 任意方向的发光面亮度 B_a , 就是指定方向的投射面的光度 dI_a , 与垂直于该方向的发光平面的投影 $dS \cos \alpha$ 之比。

对于平均发光的平面面积 S , 其亮度由下式决定。

$$B_a = \frac{I_a}{S \cos \alpha} \quad (8)$$

亮度的单位用尼特(*nit*)或斯梯(*sb*)。尼特即等于垂直于投射方向、每1米²的光度为1燭光的亮度; 斯梯即等于垂直于投射方向、每1厘米²的光度为1燭光的亮度。实用上常采用的亮度单位如下: 毫斯梯, 即等于1/1,000斯梯; 阿波斯梯(*asb*), 即各方向的发光度均等于1lm/1米²(即0.0001 *rph*)时的平面上的亮度。阿波斯梯与斯梯间关系如下:

$$1sb = \pi 10^4 asb = 31,400 asb$$

表面上各点的亮度是不相同的, 而每一点按各方向亦不相同。但因大多数使用于建筑的構築材料(例如粉刷、奶色玻璃等)甚为接近, 故表面上每一点按各方向的亮度, 可当作相同。在这种情形下該表面可認為适合于朗伯法則, 这就是說按余弦法

則的光度而變化，即在 $I_{\alpha} = I_{\max} \cos \alpha$ 時，發光面按各方向的亮度將均相同。（式中： $I_{\max}$ ——法綫方向的最大光度； I_{α} ——與反射面的法綫成 α 角方向的光度。）

若發光面任意部分的面積為 S ，亮度為 B ，照射至另一相距極遠的被照面（圖 7），則被照面面積 S_1 部分的照度 E 可按（5）

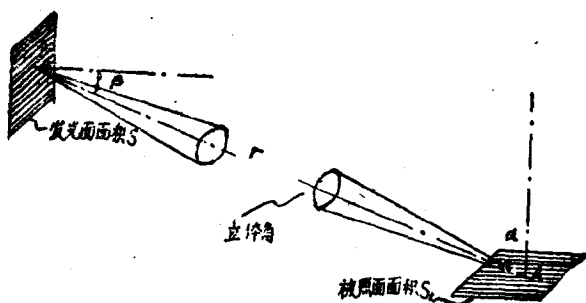


圖 7 亮度與照度的關係

式求得：

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

但 S 面之光度等於

$$I = BS \cos \beta$$

因此

$$E = \frac{BS \cos \beta \cos \alpha}{r^2}$$

但

$$\frac{S \cos \beta}{r^2} = \omega$$

因此

$$E = B \omega \cos \alpha \quad (9)$$

式中：

α —— 光綫方向與表面 S_1 部分的垂直綫所成之角度；