

## LED照明灯具



## LED照明



## LED照明灯具

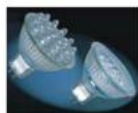


### 单颗LED

- 点光源
- 发光不均匀
- 亮度低

### LED照明灯具

- 由多个LED构成
- 一定范围内均匀发光
- 亮度高



## 第一篇

## 照明基础

## 照明基础

- 照明的作用
- 光的产生
- 视觉系统机能
- 照明基础概念与计算
- 几何光学基础

## 第一章 照明的作用

### (一) 照明的目的

#### 1. 照明的定义

##### 视觉信息

“信息”，通过五官（视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉）获得的外界刺激传递到大脑，经过大脑进行判断后指示控制下一步的行动。这里判断所依据的有用信号（刺激）就叫信息。

良好的人工照明是获得正确且快速的视觉信息的关键！

## (一) 照明的目的

### 照明的定义

照明是以人们的生活、活动为目的对光的利用，如：

- ① 用光照亮可视物体及周围环境；
- ② 使用光作用于人的情感和烘托气氛；
- ③ 通过信号、标识、展板及电气标识等传达信息，突出显示光源自身；
- ④ 不仅使用可见光，也可使用紫外线、红外线。

## (一) 照明的目的

### 2. 照明工程学与照明技术

照明是视觉的基本保证，它的基础理论是照明工程学，运用到实践中即为照明技术

#### 照明的主要相关领域：

- 与人的行动、生活相关的生理学、心理学和人类工程学；
- 与照明设施相关的建筑学、土木工程学；
- 与光的产生、分布等相关的物理、化学、电气工程学等；
- 与利用、使用、控制相关的信息工程学等；
- 电气设备技术；
- 医疗、农业、水产等行业对光辐射的应用等。

## (二) 照明发展简史

### 1. 光源的变化



穴居的原始人靠篝火照明和取暖

## (二) 照明发展简史

后来逐渐学会了用火把



## (二) 照明发展简史

2000多年前的战国，开始用油灯照明



## (二) 照明发展简史



□ 后来又发明了蜡烛

## (二) 照明发展简史



电弧灯

## (二) 照明发展简史



白炽灯

## (二) 照明发展简史



荧光灯 (冷光源)

## (二) 照明发展简史



半导体照明技术

## (二) 照明发展简史

### 2. 推荐照度的变化

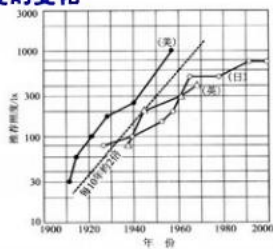


图 1.1 推荐照度的变化(一般办公室)  
(照明学会,1983<sup>[9]</sup>)

## (二) 照明发展简史

### 3. 效率与经济性

- 核算照明设备的经济性时,其运行费用的大部分为电费;
- 为使照明效率最大化,有必要进行综合的判断;
- 不仅仅考虑价格问题,效率与地球环境问题密不可分;
- 增加照度的同事,需要考虑成本的降低;
- 与环境相协调为宗旨的照明技术开发也在进行。

### (三) 照明的质量

#### 1. 光环境的必要条件

##### 照明环境水平

表 1.2 照明环境的等级与效果

等级	照明效果	实例
安全	预知活动空间内的障碍与危险	街道照明、道路照明
安心	预防犯罪、保障治安	防范照明
效率	照亮环境、提高视觉作业的能力	一般照明、作业照明
舒适	安全、舒适	用灯光创造气氛

### (三) 照明的质量

#### 1. 光环境的必要条件

##### 照明环境水平

表 1.2 照明环境的等级与效果

等级	照明效果	实例
安全	预知活动空间内的障碍与危险	街道照明、道路照明
安心	预防犯罪、保障治安	防范照明
效率	照亮环境、提高视觉作业的能力	一般照明、作业照明
舒适	安全、舒适	用灯光创造气氛

##### 适应现象

### (三) 照明的质量

#### 2. 心理效果

亮度的分布能够影响人的情绪；而色彩的心理效果更大。对于色彩信息，照明的重要作用之一是能够再现或者强调正确的颜色。

#### 3. 眩光

若视野内存在一部分亮度极高的光源或透射光、反射光，则其他部分便很难被看清。眩光既减弱视觉，又降低照明效果。

### (三) 照明的质量

#### 4. 光与色

视觉同时具有对亮度和颜色识别的两种感觉。照明必须注意光源的显色性与视觉的色适应。同时考虑色温与环境之间的关系。

#### 5. 光与影

照射三维物体时，根据光的照射方向、表面照度及亮度分布的不同，则会在视觉与感觉方面产生变化。必须用多个光源照出合适的阴影。

### (四) 照明技术与环境问题

#### 1. 照明与能源

- 1) 光源、照明灯具的高效率化
- 2) 灯的开关电路及控制系统的最优化
- 3) 照明设备的维护与管理

### (四) 照明技术与环境问题

#### 2. 照明与资源

照明设备需要用到各种无机或有机材料，有的是稀有材料，也有可能产生污染环境的废弃物。采用小型化的光源。

#### 3. 照明与环境保护

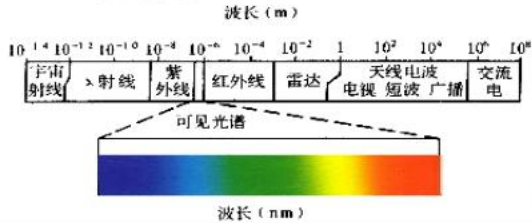
从照明产品机器设备的原材料开始，到产品、施工、使用及废弃各环节中，产生二氧化碳的评定。有效使用能源、延长照明设备寿命、节约资料。

## 第二章 光的产生

### (一) 光的本质

光是一种电磁波。

光具有波动性和粒子性。



## 第二章 光的产生

### (二) 光的产生

#### 1. 热辐射发光

热能转换成辐射能所放出的辐射叫做热辐射。

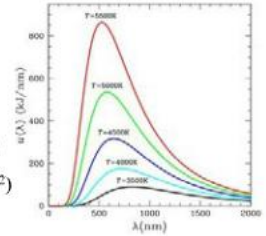
$$M_{\lambda, B}(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]^{-1}$$

其中  $C_1 = 2 \pi^5 k^4 / 15 h^3 c^2 = 3.74 \times 10^{-16} (\text{W} \cdot \text{m}^2)$

$$C_2 = hc/k_B = 1.44 \times 10^{-2} (\text{m} \cdot \text{K})$$

当  $\lambda$  不是很大,  $T$  不是很高时

$$M_{\lambda, B}(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} e^{-C_2 / \lambda T}$$

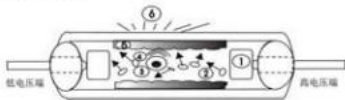


### (二) 光的产生

#### 2. 气体放电发光

**气体放电:** 电流通过气体介质时所发生的物理过程。

发光原理图



### (二) 光的产生

#### 2. 气体放电发光

气体压力小于  $10^3 \text{Pa}$  为高压气体放电

- 低压钠灯
- 荧光灯

气体压力大于  $10^5 \text{Pa}$  为高压气体放电

- 高压汞灯
- 超高压汞灯
- 高压钠灯
- 金卤灯

### (二) 光的产生

#### 3. 光致发光

用能量大的光子激发物质中的电子产生电子和空穴，通过再结合，产生能量小的光子辐射。

- 荧光发光
- 磷光发光

如：紫外线激发荧光粉发光、蓝光LED激发黄光荧光粉发光、各种夜光塑料等

### (二) 光的产生

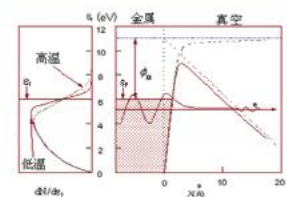
#### 4. 阴极发光

在真空中通过电场加速的电子束激发荧光粉导致发光的现象被称为阴极发光。

**电子获得的形式**

- 热电子发射
- 场致电子发射

CRT电视

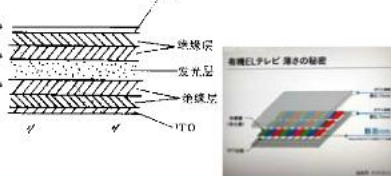


## (二) 光的产生

### 5. 电致发光

电致发光（简称EL），是通过加在两电极的电压产生电场，被电场激发的电子碰击发光中心，而引致电子解级的跃迁、变化、复合导致发光的一种物理现象。

- 无机粉末发光
- 无机薄膜发光
- 无机厚膜发光
- 有机发光
- LED



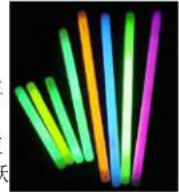
## (二) 光的产生

### 6. 化学发光

通过化学反应形成激发状态而发光，被称为化学发光。

**直接发光**是最简单的化学发光反应，有两个关键步骤组成：即激发和辐射。

**间接发光**又称能量转移化学发光，它主要由三个步骤组成：首先反应物A和B反应生成激发态中间体C\*(能量给予体)；当C\*分解时释放出能量转移给F(能量接受体)，使F被激发而跃迁至激发态F\*；最后，当F\*跃迁回基态时，产生发光。



## (二) 光的产生

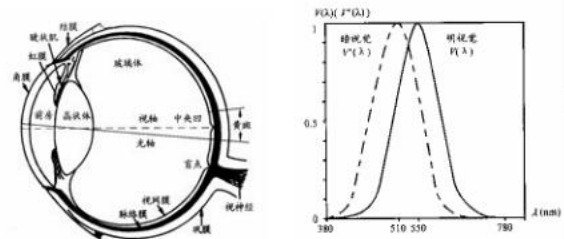
### 7. 生物发光

是指生物体发出的光辐射，是生物体释放能量的一种形式，这种发光现象广泛地分散在生物界中。它不依赖于有机体对光的吸收，而是一种特殊类型的**化学发光**，也是氧化发光的一种。生物发光的一般机制是：由细胞合成的化学物质，在一种特殊酶的作用下，使化学能转化为光能。



## 第三章 视觉系统机能

### (一) 视觉系统的构造



## 第三章 视觉系统机能

### (二) 亮度对别的识别

一个物体能被看见，是因为它与周围背景的亮度是不同的。

有两点因素需要考虑：

1. 目标与其周围背景之间的对比；
2. 背景的整体亮度。



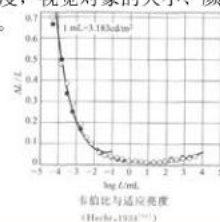
### (二) 亮度对别的识别

亮度差异程度用亮度比来表示，为此被称为亮度对比。恰好能够识别的亮度增量称为识别阈。

亮度对比的识别阈随背景亮度，视觉对象的大小、颜色，观察时间等的不同而变化。

通常识别准确率为50%时的增量定义为识别阈的大小。

韦伯比  $\frac{L_T - L_B}{L_B} = \text{对比度}$



## (二) 亮度对别的识别

例:黑色的羊毛放在黑色的背景中,背景和羊毛的光照情况相同。背景反射率为3%,羊毛反射率为5%,求对比度?

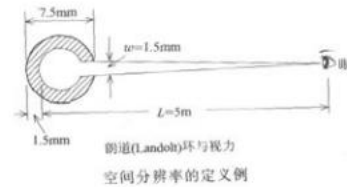
在光照相同的情况下,亮度同反射率成正比

$$\text{对比度} = \frac{(0.5-0.3)}{0.3} = 0.66$$

## (三) 视力与空间分辨率

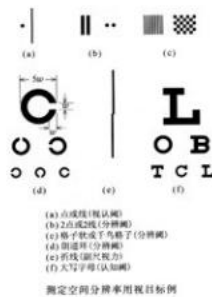
### 1.空间分辨率

视觉系统识别细微处的能力,即空间分辨率,是以能够识别的视觉对象到眼睛的连线形成的夹角来定义的。



## (三) 视力与空间分辨率

1. 根据能够识别视觉对象存在最小程度
2. 根据把几个视觉对象分离的识别最小距离
3. 根据识别线的错位等图形的变化所需的最小位移
4. 根据识别和读取文字、符号或图形的视觉对象的最小程度



## (三) 视力与空间分辨率

### 2.视力的测定

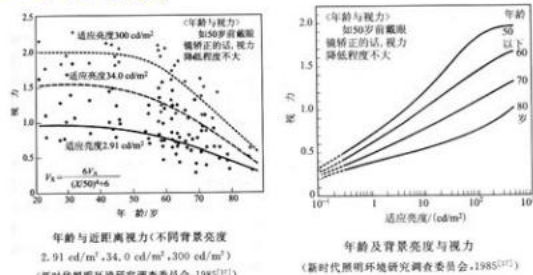
用朗道环来测定视力

$$V_A = \frac{1}{60 \times 57.3 \tan(\alpha / L)}$$

朗道环与背景的亮度对比为90%以上,背景亮度定为159 cd/m<sup>2</sup>,观测距离一般采用5.0m,这种情况下朗道环开口宽度1.5mm相当于视力1.0

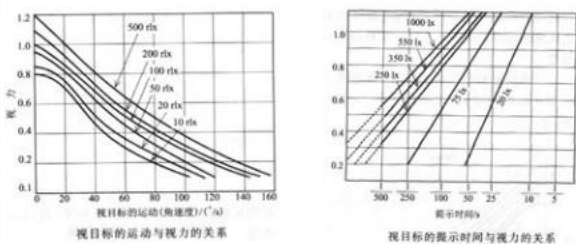
## (三) 视力与空间分辨率

### 3.年龄与视力



## (三) 视力与空间分辨率

### 4.视觉对象的运动与视力



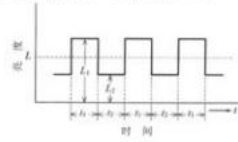
### (三) 视力与空间分辨率

#### 5. 闪烁

光亮灭的频率比较低的情况下，这种亮灭的感觉被称为闪烁。而亮灭的频率变高时，闪烁的感觉消失，感觉光始终是连续不变的，这种感觉被称为融合。正好融合时的闪烁频率被称为闪烁临界值或临界融合频率（CCF）

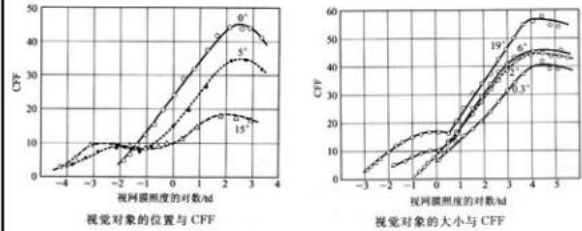
#### 融合感觉下的亮度

$$L = \frac{L_1 t_1 + L_2 t_2}{t_1 + t_2}$$



亮度的时间变化  
(L: 因融合状态下感觉到的亮度)

### (三) 视力与空间分辨率

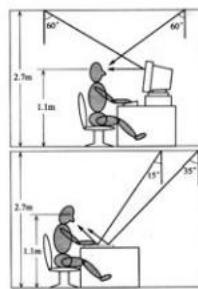


### (三) 视力与空间分辨率

#### 6. 眩光

视野内出现极高亮度或强烈的亮度对比时，则可能发生不舒适感或视觉功能降低即眩光的现象。

- ① 被强烈的亮度刺激造成视网膜内感光器的反应饱和，产生不完全响应；
- ② 由于视网膜内的神经组织受刺激过大失去控制，造成功能发挥不完全；
- ③ 由于角膜、水晶体、玻璃体等产生光散射，在眼球内形成光幕，导致视觉对象出现重影的现象；
- ④ 强烈的亮度刺激造成瞳孔缩小，控制系统的反应失控。



眩光产生的原因与种类

### (三) 视力与空间分辨率

高亮度光源产生眩光的显著特征包括：  
① 周围较暗使得视觉系统的亮度适应水平很低；

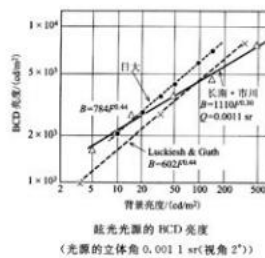
- ② 视觉对象的亮度过高；
- ③ 视觉对象的表现面积很大；
- ④ 很亮的视觉对象离视线过近；
- ⑤ 太亮的视觉对象过多。

根据眩光对视觉系统的不同影响，可分为不舒适眩光和失能眩光两种。此外，根据眩光产生的机理，又可分为反射眩光和光幕眩光两种。

### (三) 视力与空间分辨率

#### (1) 不舒适眩光

视野内出现比适应亮度更高的视觉对象时，视力不一定下降，但可产生心烦、刺眼及疲劳的感觉。这种以心理影响为主眩光称为不舒适眩光。

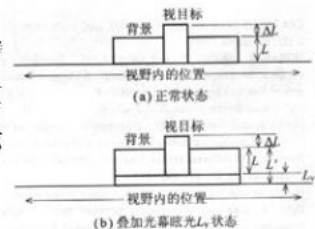


由眩光所产生的舒适与否的临界亮度称为BCD亮度。

### (三) 视力与空间分辨率

#### (2) 反射眩光

视觉对象产生如镜面一样的反射，使背景与视觉对象之间的亮度对比减弱，从而产生的眩光现象称为反射眩光。



$$CRF = \frac{L}{L + L_v}$$

存在光幕眩光时亮度对比的降低

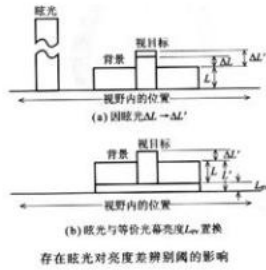


### (三) 视力与空间分辨率

#### (3) 失能眩光

由于刺眼的强光而造成视力下降的现象称为**失能眩光**。

当无眩光时的亮度辨认阈  $\Delta L$  因眩光增加到  $\Delta L'$  时，失能眩光的影响程度，可采用与光幕亮度同样的换算方法进行评价。



### (三) 视力与空间分辨率

$$L' = L + L_{ev}$$

$L'$  为等价背景亮度， $L_{ev}$  为等价光幕亮度

等价光幕亮度计算的建议公式：

$$L_{ev} = \frac{9.2E_0}{\theta(\theta + 1.5)}$$

$E_0$  为眩光在眼睛为之处形成的照度，

$\theta$  为眩光方向与视线形成的夹角

## 第四章 照明度量与计算

对各种**电磁辐射**能量的计量研究称为**辐射量度学 (radiometry)**

对**可见光**能量的计量研究称为**光度学 (photometry)**

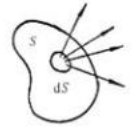
### (一) 辐射量度

#### 1. 辐射通量

单位时间内该辐射体所辐射的总能量  $\Phi_e$

辐射通量又称辐射功率，单位：瓦特 (W)。

$$\Phi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \quad \Phi_e = \int_0^\infty \Phi_{e\lambda} d\lambda$$



### (一) 辐射量度

#### 2. 辐射强度

表示点辐射源在不同方向上的辐射特性

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$$

#### 3. 辐出度 $M_e$

辐射源单位发射面积发出的辐通量

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{ds}$$

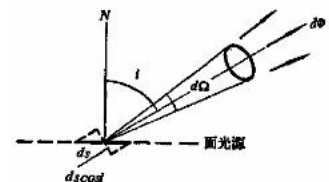
单位：瓦每平方米 (W/m<sup>2</sup>)

### (一) 辐射量度

#### 4. 辐亮度

$$L_e = \frac{d\Phi_e}{\cos i ds d\Omega}$$

$$L_e = \frac{I_e}{\cos i ds}$$

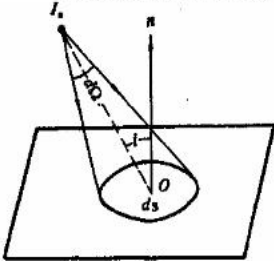


在  $i$  方向上的辐亮度就是辐射面在垂直于  $i$  方向上单位投影面积在单位立体角发出的辐通量

## (一) 辐射量度

### 5. 辐射照度

点源产生的辐射照度：设点源s的辐射强度为 $L_e$ ，它与被照面上O点的面积 $ds$ 的距离为 $l$ ， $ds$ 接收到的辐射通量为：



$$d\Phi_e = L_e d\Omega$$

$$= L_e \frac{ds \cos i}{l^2}$$

点源在被照面上O点所产生的辐射照度为：

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{ds} = L_e \frac{\cos i}{l^2}$$

单位：瓦角平方米 ( $W/m^2$ )

## (二) 光量度 (照明量度)

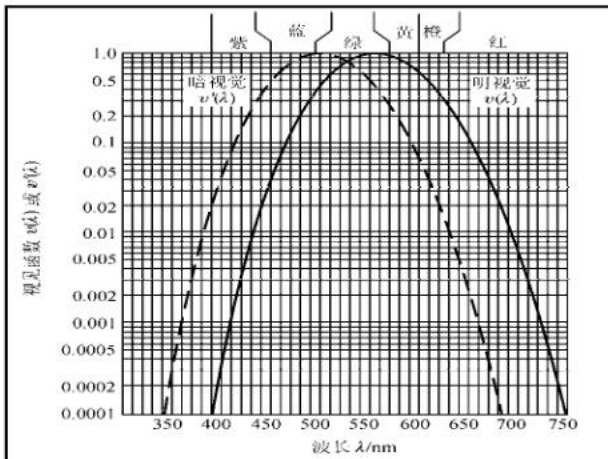
### 1) 视见函数

在可见光范围内，人眼对不同波长的辐射所引起的视觉效应，其灵敏度是不同的，我们把人眼对可见光各种波长辐射反应程度称为视觉函数，以 $V_\lambda$ 来表示。

$V_\lambda$  值的大小与照度条件有关。

人眼对0.555的黄光最为敏感  $V_\lambda = 1$ ，其它波长  $V_\lambda < 1$

$$v(\lambda) = \frac{\Delta \epsilon_{5550}}{\Delta \epsilon_\lambda}$$



光的颜色	波 (微米) 长	$V_\lambda$	光的颜色	波 (微米) 长	$V_\lambda$
紫	0.400	0.0004	黄	0.577	0.952
	0.410	0.0012		0.580	0.870
	0.420	0.0040		0.590	0.757
	0.430	0.0116		橙	0.600
蓝	0.440	0.023	0.610		0.503
	0.450	0.038	0.620		0.381
	青	0.630	0.662		0.630
0.460		0.060	0.640	0.175	
0.470		0.091	0.650	0.107	
0.480		0.139	红	0.660	0.051
0.490	0.208	0.670		0.032	
0.500	0.323	0.680		0.017	
0.510	0.493	0.690		0.0082	
绿	0.520	0.710	0.700	0.0041	
	0.530	0.862	0.710	0.0021	
	0.540	0.954	0.720	0.00105	
	0.550	0.985	0.730	0.00052	
黄	0.555	1.000	0.740	0.00025	
	0.560	0.985	0.750	0.00012	
	0.570	0.954	0.760	0.00006	
	0.580	0.905			

## (二) 光量度

### 2) 光通量

$$\Phi = CV(\lambda)\Phi_e \quad C: \text{比例常数} \quad C=683$$

光通量单位：流明 ( $Lm$ )

其大小规定如下，假定辐射体发出的光的波长为555 nm，并且其功率为1瓦，则该辐射体所发出的光通量为683流明

## 光通量

光视效能：

每瓦辐射通量能产生的光通量数：

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e}$$

发光效率：

电光源发出的总光通量 $\Phi$ 与电光源的耗电功率 $P$ 之比 $\eta$

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

## 光通量

### 辐射通量到光通量的转换

【例】

如果光源功率 60 W，波长 589 nm，问其发光量为多少流明 (lm)?

【解】

在 589 nm 下， $P_k$  为 60 W (如题)， $V_k$  为 0.768 (如表)

由此  
光通量 =  $675 \times 60 \times 0.768 \text{ lm} = 31104 \text{ lm}$

本题比较简单，只考虑一个波长的光，当光源不是单波长 (单频) 而是一系列波长时 (多色光) 问题要复杂得多。

## 光通量

【例】

计算一盏 200 W 的白炽灯发出的流明近似值，辐射功率按下表分布：

波段 (nm)	<400	400~450
功率 (W)	2	1
波段 (nm)	450~500	500~550
功率 (W)	1.5	2
波段 (nm)	550~600	600~650
功率 (W)	2.5	3
波段 (nm)	650~700	>700
功率 (W)	3.5	170

## 光通量

解：该题可用表格方式解答。答案的精确度取决于波段划分的数目。在题中采用了较大的 50 nm 的波段来划分，因此只能得到近似值。

波段 (nm)	$P_k$ (W)	$V_k$	$P_k \times V_k$
<400	2	0	0
400~450	1	0.008	0.008
450~500	1.5	0.110	0.160
500~550	2.0	0.780	1.560
550~600	2.5	0.910	2.270
600~650	3.0	0.320	0.960
650~700	3.5	0.020	0.070
>700	170	0	0
总值 =			5.03

所以，光通量 =  $675 \times 5.03 \text{ lm} = 3395 \text{ lm}$  光效 =  $3395 / 200 = 17 \text{ lm/W}$

## (二) 光量度

### 3) 发光强度

- 发光具有方向性
- 表征光通量空间分布的物理量
- 定义：点光源在单位立体角中发出的光通量

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

- 单位：坎德拉 (cd)

## 发光强度

$$1 \text{ 坎德拉} = \frac{1 \text{ 流明}}{1 \text{ 球面度}}$$

流明定义：发光强度为 1 坎德拉的点光源在单位立体角内发出的光通量为 1 流明。

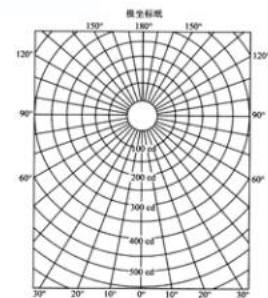
cd 是光学基本量，是国际单位制中七个基本量之一。

对各向同性的点光源：

$$\Phi = \int_{\Omega} I d\Omega = I \Omega = 4\pi I$$

## 发光强度

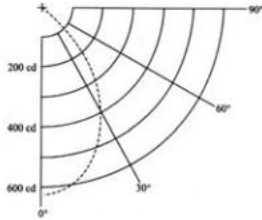
光强分布图



## 发光强度

下表给出了不同垂直角度上的光强，试绘出极坐标曲线。

与竖直向下方向的夹角 (°)	0	15	30	45	60	75	90
光强 (cd)	620	570	400	200	50	10	0



光强分布-极坐标系

## (二) 光量度

### 4) 光出射度M

$$M = \frac{d\Phi}{ds}$$

发光表面单位面积内所发出的光通量

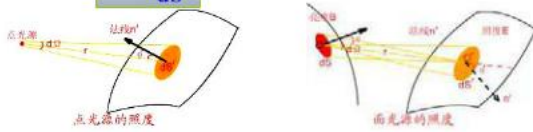
单位：勒克斯lx (辐脱) 1勒克斯 =  $\frac{1\text{流明}}{1\text{平方米}}$

1辐脱=10<sup>4</sup>勒克斯

### 5) 照度

表征受照面被照明程度的物理量，可用落在受照物体单位面积上的光通量数值来量度，可表达为

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$



照度定律

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I d\Omega}{dS} = \frac{I}{r^2} \cos \theta$$

### 光量度

单位面积的物体在光源照射下所获得的光通量

[注:] 照度中的 $d\Phi$ 是指入射于 $ds$ 上的光通量

而出射度中的 $d\Phi$ 是指从 $ds$ 面上发出的光通量

单位：勒克斯(lx), 烛光(fc)

$$1\text{lx} = 1\text{lm} / \text{m}^2$$

$$1\text{fc} = 1\text{lm} / \text{ft}^2$$

$$1\text{lx} = 0.0929\text{fc}$$

$$1\text{fc} = 10.76\text{lx}$$



## 光量度

无月夜天光在地面上所产生的照度 $3 \times 10^{-4}$

接近天顶的满月在地面所产生的照度0.2

办公室工作时所必须的照度20~100

晴朗的夏日在采光良好的室内的照度100~500

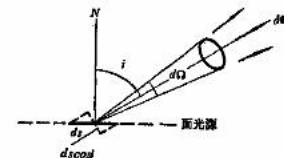
夏日太阳不直接射到露天地面的照度1,000~10,000

### 6) 亮度

当光源是一个有限面积的光源时，其辐射特性在不同方向是不一样的。

$$L = \frac{d\Phi}{\cos i ds d\Omega}$$

$$= \frac{I}{ds \cos i}$$



即光源亮度等于沿法线方向角单位面积上的发光强度。

单位：尼特 (cd/m<sup>2</sup>) 1尼特 =  $\frac{1\text{坎德拉}}{1\text{平方米}}$  1照提=10<sup>4</sup>尼特

## 光量度

- 与人眼最小灵敏度相对应的物体  $10^{-10}$
- 无月的夜空  $10^{-3}$
- 满月的表面 0.25
- 煤油灯焰 1.5
- 阳光照射下的洁净雪面 3
- 乙炔焰 8
- 钨丝白炽灯 500~1,500
- 超高压球状汞灯 120,000
- 在地面上看到的太阳 150,000

## (三) 照明量度的计算

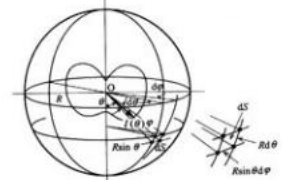
### 1. 光通量与光强

在对称配光的情况下

$$\Phi = 2 \int_0^{\pi/2} I(\theta) \sin \theta d\theta$$

对于均匀辐射的物体

$$I = \Phi / 4\pi$$



如：一只200lm的白炽灯，透光率为0.9，求光强。

$$200 \times 0.9 / 4\pi = 14.3cd$$

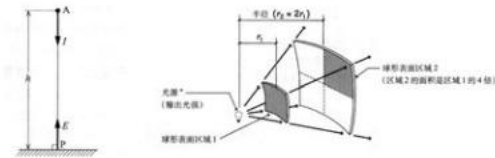
## (三) 照明量度之间的关系与计算

### 2. 照度计算

#### (1) 点光源

平方反比定律  $E = \frac{I}{h^2}$

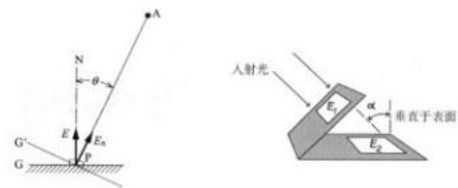
E为照度  
I为光强



### 2. 照度计算

#### (1) 点光源

余弦定律  $E = E_n \cos \theta$

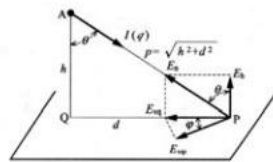


### 2. 照度计算

#### (1) 点光源

点光源形成的照度

法线照度  $E_n$   
水平照度  $E_h$   
垂直照度  $E_v$   
垂直面照度中Q方向的照度  $E_{vq}$   
这个方向与角  $\phi$  形成的角用  $E_{vp}$



点光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>[1]</sup>)

### 2. 照度计算

#### (1) 点光源

点光源形成的照度

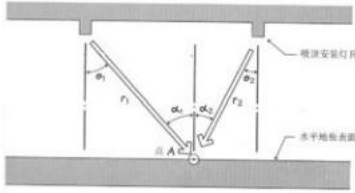
	$p$ 与 $\theta$	$h$ 与 $\theta$	$d$ 与 $\theta$	$h$ 与 $d$	$E_n$ 的关系
$E_n$	$\frac{I(\theta)}{p^2}$	$\frac{I(\theta)}{h^2} \cos^2 \theta$	$\frac{I(\theta)}{d^2} \sin^2 \theta$	$\frac{I(\theta)}{h^2 + d^2}$	$E_n$
$E_h$	$\frac{I(\theta)}{p^2} \cos \theta$	$\frac{I(\theta)}{h^2} \cos^3 \theta$	$\frac{I(\theta)}{d^2} \sin^2 \theta \cdot \cos \theta$	$\frac{I(\theta) \cdot h}{(h^2 + d^2)^{3/2}}$	$E_n \cdot \cos \theta$
$E_{vq}$	$\frac{I(\theta)}{p^2} \sin \theta$	$\frac{I(\theta)}{h^2} \sin \theta \cdot \cos^2 \theta$	$\frac{I(\theta)}{d^2} \sin^3 \theta$	$\frac{I(\theta) \cdot d}{(h^2 + d^2)^{3/2}}$	$E_n \cdot \sin \theta$
$E_{vp}$	$\frac{I(\theta)}{p^2} \sin \theta \cdot \cos \phi$	$\frac{I(\theta)}{h^2} \sin \theta \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos \phi$	$\frac{I(\theta)}{d^2} \sin^2 \theta \cdot \cos \phi$	$\frac{I(\theta) \cdot d}{(h^2 + d^2)^{3/2}} \cos \phi$	$E_n \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi$

(照明学会, 1989<sup>[1]</sup>)

## 2. 照度计算

### (1) 点光源

多个点光源照度计算  $E = \frac{I}{r_1^2} \cos \alpha_1 + \frac{I}{r_2^2} \cos \alpha_2 + \dots$

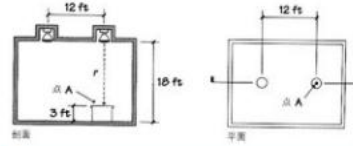


## 2. 照度计算

### (1) 点光源

例：2个光强分布如图所示的光源。求A点处的照度。

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta = \frac{1950}{15^2} * 1 = 9 \text{fc}$$

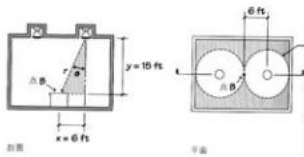


## 2. 照度计算

### (1) 点光源

例：2个光强分布如图所示的光源。求B点处的照度。

$$E = 2 \frac{I}{r^2} \cos \theta = 2 * \frac{2100}{15^2 + 6^2} * 0.9272 = 14 \text{fc}$$

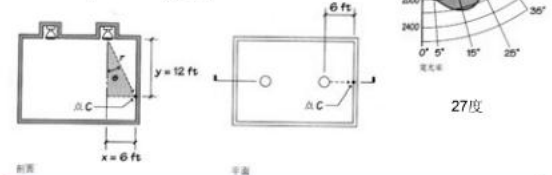


## 2. 照度计算

### (1) 点光源

例：2个光强分布如图所示的光源。求C点处的照度。

$$E = \frac{I}{r^2} \sin \theta = \frac{1900}{12^2 + 6^2} * 0.454 = 5 \text{fc}$$



## 2. 照度计算

### (2) 圆柱光源

$$E_n = \frac{I}{2p} (\alpha + \sin \alpha \cos \alpha)$$

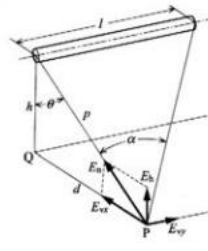
$$= \frac{I}{2p} \left( \frac{lp}{p^2 + l^2} + \arctan \frac{l}{p} \right)$$

$$E_h = E_n \cos \theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} E_n$$

$$E_{vx} = E_n \sin \theta = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} E_n$$

$$E_{vy} = \frac{I}{2p} \sin^2 \alpha = \frac{I}{2p} \frac{l^2}{p^2 + l^2}$$

式中， $I$  为单位长度光源轴垂直方向的  
光强。



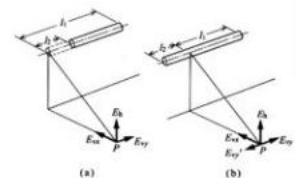
圆柱光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 光强与照度

### (2) 圆柱光源

图(a): 
$$\left. \begin{aligned} E_h &= E_{h1} - E_{h2} \\ E_{vx} &= E_{vx1} - E_{vx2} \\ E_{vy} &= E_{vy1} - E_{vy2} \end{aligned} \right\}$$

图(b): 
$$\left. \begin{aligned} E_h &= E_{h1} + E_{h2} \\ E_{vx} &= E_{vx1} + E_{vx2} \\ E_{vy} &= E_{vy1} \\ E_{vy}' &= E_{vy2} \end{aligned} \right\}$$



被照点不在光源端平面上的情况  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 照度计算

### (3) 平带状光源

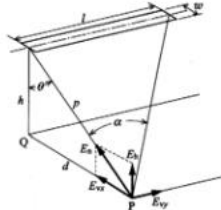
$$E_n = \frac{Ih}{2p^2} (\alpha + \sin\alpha \cos\alpha)$$

$$= \frac{Ih}{2p^2} \left( \frac{lp}{p^2 + l^2} + \arctan \frac{l}{p} \right)$$

$$E_n = E_n \cos\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} E_n$$

$$E_{\alpha} = E_n \sin\theta = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} E_n$$

$$E_{\nu} = \frac{Ih}{2p^2} \sin^2 \alpha = \frac{Ih}{2p^2} \frac{l^2}{p^2 + l^2}$$



平面条形光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

式中,  $l$  为单长度光源面法线方向的光强。

## 2. 照度计算

### (4) 平圆板光源

$$E_n = \frac{\pi L}{2} (1 - \cos 2\theta) = \frac{\pi L r^2}{h^2 + r^2}$$

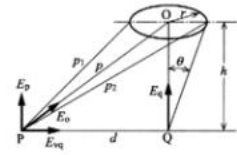
$$E_{\nu} = \frac{\pi L}{2} \left( 1 - \frac{h^2 + d^2 - r^2}{\sqrt{(h^2 + d^2 + r^2)^2 - 4(dr)^2}} \right)$$

$$= \pi L \frac{4r^2 - (\rho_1 - \rho_2)^2}{4\rho_1 \rho_2}$$

$$E_{\alpha} = \frac{\pi L h}{2d} \left( \frac{h^2 + d^2 + r^2}{\sqrt{(h^2 + d^2 + r^2)^2 - 4(dr)^2}} - 1 \right)$$

$$= \frac{\pi L h (\rho_2 - \rho_1)^2}{d \cdot 4\rho_1 \rho_2}$$

$$E_{\nu} = \frac{\pi r^2 L h}{\rho_1 \rho_2 p}$$



平圆板光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 照度计算

### (4) 平圆板光源

例: 如果一个圆盘形光源亮度为  $400 \text{ cd/m}^2$ , 半径为  $1.5 \text{ m}$ , 在它之下  $2 \text{ m}$  处的平行面上照度是多少?

$$E = \frac{\pi L r^2}{h^2 + r^2}$$

$$= \pi \times 400 \times \frac{1.5^2}{1.5^2 + 2^2}$$

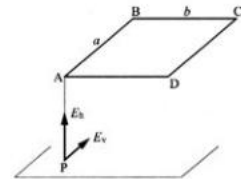
$$= 452 \text{ lx}$$

## 2. 照度计算

### (5) 矩形光源

$$E_n = \frac{L}{2} \left( \frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}} \arctan \frac{b}{\sqrt{a^2 + h^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + h^2}} \arctan \frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}} \right)$$

$$E_{\nu} = \frac{L}{2} \left( \arctan \frac{a}{h} - \frac{h}{\sqrt{b^2 + h^2}} \times \arctan \frac{a}{\sqrt{b^2 + h^2}} \right)$$

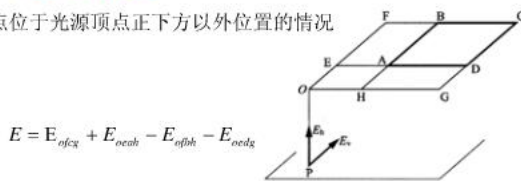


长方形光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 照度计算

### (5) 矩形光源

P点位于光源顶点正下方以外位置的情况



$$E = E_{ofcx} + E_{ocbh} - E_{ofbh} - E_{ocdg}$$

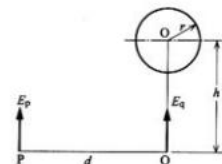
长方形光源形成的照度  
(任意被照点适用)(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 照度计算

### (6) 球面光源

$$E_q = \frac{\pi r^2 L}{h^2}$$

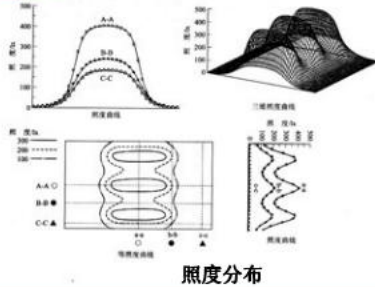
$$E_p = \frac{\pi^2 h L}{(h^2 + d^2)^{3/2}}$$



球面光源形成的照度  
(照明学会, 1989<sup>(1)</sup>)

## 2. 照度计算

### (7) 照度分布



## 第五章 几何光学基础

### (一) 光波和光线

在工农业、科学技术以及人类生活的各个领域，使用着种类繁多的照明光学系统，如路灯系统、室内照明、隧道照明、景观照明等。

**光学系统：千差万别**

但是其基本功能是共同的：传输光能，形成一定的光强分布。

**研究光传播的规律对于设计照明光学系统具有本质的意义！**

### (一) 光波和光线

从本质上讲，光是电磁波，它是按照波动理论进行传播。

但是按照波动理论来讨论光经透镜和光学系统是传播规律或成像问题时将会造成计算和处理上的很大困难，在实际解决问题时也不方便。



### (一) 光波和光线

按照近代物理学的观点，光具有波粒二象性，那么如果只考虑光的粒子性，把光源发出的光抽象成一条条光线，然后按此来研究照明光学系统。

问题变得简单而且实用！



### (一) 光波和光线

**几何光学：**以光线为基础，用几何的方法来研究光在介质中的传播规律。

- 点：光源、焦点
- 线：光线、法线、光轴
- 面：反射面、折射面、受照面

由于光具有波动性，因此这种只考虑粒子性的研究方法只是一种对真实情况的近似处理方法。必要时辅以波动光学理论。

### 1. 发光点

#### 发光点

几何上的点是既无大小，又无体积的抽象概念。当光源的大小与其作用距离相比可以忽略不计时，也可认为是一个点。





### 1. 发光点

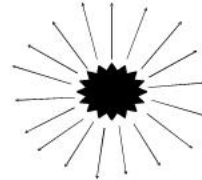
任何光源或者被照面都是由无数个发光点组成

- 1、本身发光。
- 2、反射光。

因此研究照明系统时，可以用某些特征点的特性来推断照明系统的特性。

### 2. 光线

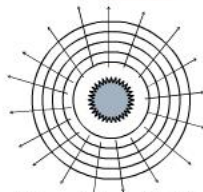
发光点向四周辐射光能量，在几何光学中将发光点发出的光抽象为带有能量的线，它代表光的传播方向。



### 3. 光束

一个位于均匀介质中的发光点，它所发出的光向四周传播，形成以发光点为球心的**球面波**。

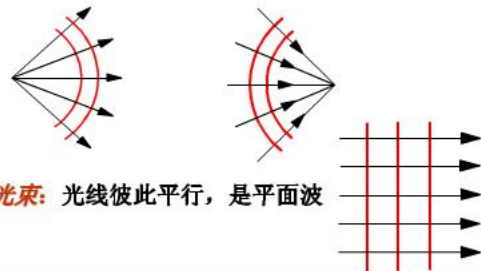
某一时刻相位相同的点构成的面称为**波面**



波面上某一点的法线就是这一点上光的传播方向，波面上的法线束称为**光束**

### 3. 光束

**同心光束**：发自一点或会聚于一点，为球面波



**平行光束**：光线彼此平行，是平面波

## (二) 几何光学基本定律

### 1. 光的直线传播定律

在**各向同性的均匀透明介质**中，光线沿直线传播。

### 2. 光的独立传播定律

不同的光源发出的光线在空间某点相遇时，彼此互不影响。在光线的相会点上，光的强度是各光束的简单叠加，离开交会点后，各个光束按原方向传播。

## (二) 几何光学基本定律

屏上被两发光点同时照亮区域的照度等于二发光点产生的照度之和。

忽略干涉现象  
干涉： $E = E_1 + E_2$   
 $I = E^2$   
 $I_1 = E_1^2 \quad I_2 = E_2^2$

## (二) 几何光学基本定律

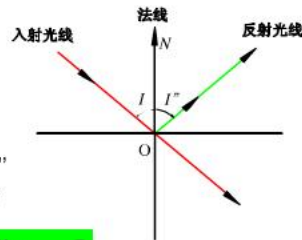
### 3. 反射定律

(1) 反射光线在由入射光线和法线所决定的平面内

(2) 入射角  $I$  和反射角  $I'$  的绝对值相同, 可表示为

$$I' = -I$$

符号相反说明入射光线和反射光线分居法线两侧。



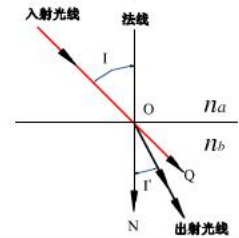
## (二) 几何光学基本定律

### 4. 折射定律

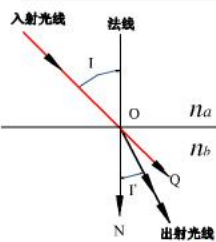
光的折射和反射定律研究光传播到两种均匀介质的分界面时的定律。

$I$ : 入射角

$I'$ : 折射角



### 4. 折射定律



(1) 折射光线位于由入射光线和法线所决定的平面内, 折射光线和入射光线分居法线两侧。

(2) 入射角的正弦和折射角的正弦之比与两角度的大小无关, 仅决定于介质的性质, 为一恒量  $n_{ab}$

$$\text{即 } \frac{\sin I}{\sin I'} = n_{ab}$$

$n_{ab}$ : 介质  $b$  对介质  $a$  的相对折射率,

如果介质  $a$  为真空, 则介质  $b$  对真空的折射率也称为绝对折射率, 用  $n_b$  表示

### 4. 折射定律

也可表述为:

$$n_b = \frac{c}{v_b}$$

$C$ : 在真空中光速,  $v_b$ : 在介质  $b$  中光速

两个介质的相对折射率可以用光在该介质中的速度表示

$$n_{ab} = \frac{v_a}{v_b}$$

对上式变换

$$n_{ab} = \frac{v_a}{v_b} = \frac{C/n_a}{C/n_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

两种介质的相对折射率等于两介质的绝对折射率之比

### 4. 折射定律

将上式代入  $\frac{\sin I}{\sin I'} = n_{ab}$  并设

$$n_a = n, \quad n_b = n'$$

有:  $n \sin I = n' \sin I'$

真空折射率为1, 在标准压力下, 20摄氏度时空气折射率为1.00028,

通常认为空气的折射率也为1, 把其他介质相对于空气的折射率作为该介质的绝对折射率。

## (三) 光路可逆和全反射

### 1. 光路的可逆性

若光线在折射率为  $n'$  的介质中沿  $CO$  方向入射, 由折射定律可知, 折射光线必沿  $OA$  方向射出。同样, 如果光线在折射率为  $n$  的介质中沿  $BO$  方向入射, 则由反射定律可知, 反射光线也一定沿  $OA$  方向射出。由此可见, 光线的传播是可逆的, 这就是光路的可逆性。

### (三) 光路可逆和全反射

#### 2. 全反射现象

一般情况下，光线射至透明介质的分界面时将发生反射和折射现象。

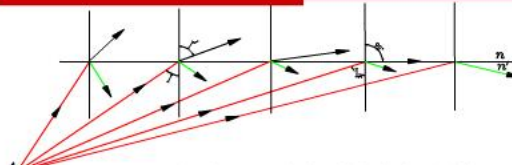
由公式  $n \sin I = n' \sin I'$  可知

$$\sin I < \sin I'$$

即折射光线较入射光线偏离法线

当光由光密介质射向光疏

#### 2. 全反射现象



$\sin I'$  不可能大于1，此时入射光线将不能射入另一介质。

按照反射定律在界面上全部被反射回原介质  
对应于  $\sin I' = 1$  的入射角  $I$  被称为**临界角**

记为  $I_m$ ，可知

$$\sin I_m = \frac{n'}{n}$$

#### 2. 全反射现象

全反射的两个条件：

- (1) 光密到光疏介质；
- (2) 入射角大于临界角；

全反射的应用：

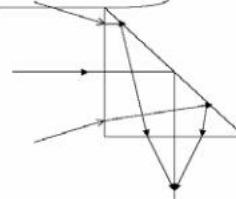
- (1) 制成各种全反射棱镜，用于折转光路，代替平面反射镜。
- (2) 制造光导纤维。

#### 2. 全反射现象

全反射的应用

##### ① 等腰直角棱镜

- 当  $2I$  在某范围内时，斜面上发生全反射，则透明介质界面上不需要镀反射膜



#### 2. 全反射现象

##### ② 光导纤维

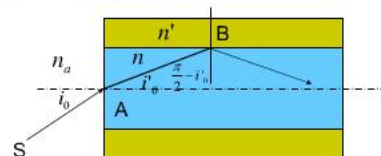
光导纤维号称现代信息系统的神经



由内层折射率较高的纤芯和外层折射率较低的包层组成

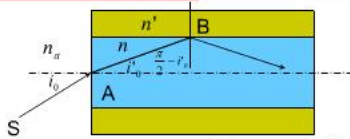
#### 2. 全反射现象

进入光纤的光线在纤芯与包层的分界面上连续发生全发射，直至另一端出射。



当  $\frac{\pi}{2} - i_0$  大于临界角时，就发生全发射。

## 2. 全反射现象



根据折射定律, 又有:  $n_a \sin i_0 = n \sin i'_0$

$$\text{可以得到: } i_0 = \arcsin\left(\frac{1}{n_a} \sqrt{n^2 - n'^2}\right)$$

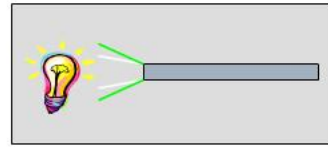
当入射角  $i < i_0$  时, 可以全反射传送,

当  $i > i_0$  时, 光线将会透过内壁进入包层

## 2. 全反射现象

定义  $n_a \sin i_0$  为光纤的数值孔径

$i_0$  越大, 可以进入光纤的光能就越多, 也就是光纤能够传送的光能越多。



这意味着光信号更容易耦合入光纤。

## (四) 费马原理

费马原理从光程的观点来描述光传播的规律, 是几何光学最基本的定律。

一、光程——光线在介质中传播的距离与该介质折射率的乘积。

1. 均匀介质中,  $s = nl$

由于  $n = c/v$ ,  $l = vt$ , 所以  $s = ct$

——光线在介质中传播的光程等于光线从一点到另一点传播的时间与在真空中传播速度的乘积。

——光线在真空中相同时间内传播的距离。

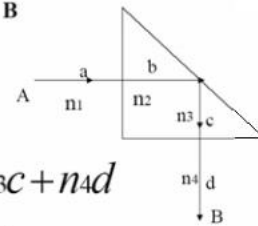
2. 非均匀介质中:  $ds = n dl$

$$s = \int_A^B n(x, y, z) dl$$



## (四) 费马原理

• 如右图, 光程 A——B



$$s = n_1 a + n_2 b + n_3 c + n_4 d$$

$$= a + d + n(b + c)$$

## (四) 费马原理

• 光从一点传播到另一点是沿着光程为极值 (极大、极小、常量) 的路径传播的。

— 一般地, 设光在非均匀介质中,

$$s = \int ds = \int n dl$$

— 费马原理的表述:

$$\delta s = \delta \int n dl = 0$$

## (四) 费马原理

• 均匀介质:

① 两点间以直线为最短——直线传播

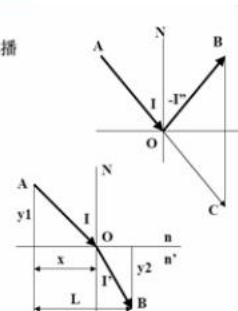
② 反射

③ 折射

利用  $\frac{d(AOB)}{dx} = 0$

可导出  $n \sin I - n' \sin I' = 0$

请同学们自行推导



## 第二篇

# 道路照明设计

## 道路照明设计

- 道路照明评价指标及路面特征
- 道路照明灯具
- 机动车道路照明标准
- 照明方式与设计要求
- 道路照明计算

## 第六章 道路照明评价指标及路面特征

### (一) 道路照明质量评价

主要从**视功能**和**视舒适**两方面进行。

- |              |  |
|--------------|--|
| <b>视功能方面</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 平均亮度<math>L_{av}</math></li> <li>• 路面亮度总均匀度<math>U_0</math></li> <li>• 失能眩光TI</li> </ul>  |
| <b>视舒适方面</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 平均亮度<math>L_{av}</math></li> <li>• 路面亮度纵向均匀度<math>U_L</math></li> <li>• 不舒适眩光G</li> </ul> |

像环境比SR、视觉诱导性等

### (一) 道路照明质量评价

#### 1. 路面平均亮度

在道路照明中，辨别物体主要依靠亮度差

$$\text{亮度对比度 } C = \frac{L_o - L_{av}}{L_{av}}$$

$L_{av}$  背景亮度，即路面亮度  
 $L_o$  物体本身亮度

当 $L_o > L_{av}$ 时，为正对比

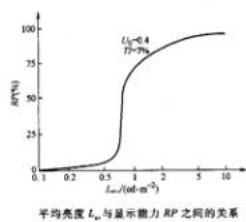
当 $L_o < L_{av}$ 时，为负对比。道路照明中主要使用负对比

### (一) 道路照明质量评价

#### 1. 路面平均亮度

为了研究平均亮度对视功能的影响，提出了显示能力RP这个概念。

显示能力RP是指能够看到路面上设定障碍物的概率。



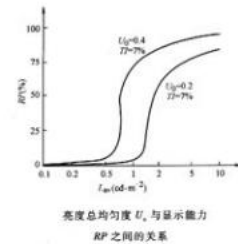
### (一) 道路照明质量评价

#### 2. 路面亮度均匀度

##### (1) 亮度总均匀度

定义为路面上最小亮度和平均亮度的比，即

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{av}}$$



## (一) 道路照明质量评价

### (2) 亮度纵向均匀度 $U_L$

路面上如果反复出现亮带和暗带，即所谓的“斑马条纹效应”，这种效应会让驾驶员感到烦躁。因此必须限制沿车道中心线上最亮区和最暗区的亮度差，即亮度纵向均匀度。

$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$

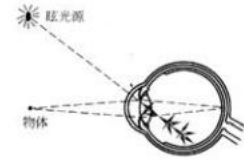
## (一) 道路照明质量评价

### 3. 眩光限制

#### (1) 失能眩光

眩光会在视觉上产生等效光幕亮度。

$$L_v = K \frac{E_{cyc}}{\theta^2}$$



由于眩光源而引起的光在眼睛中的散射

$L_v$  等效光幕亮度

$E_{cyc}$  眩光源在观察者眼睛上所产生的照度

$\theta$  视线与眩光源入射方向之间的夹角

$K$  比例常数。 $\theta$  单位为度是， $K=10$ ；为弧度时， $K=3 \times 10^{-3}$

## (一) 道路照明质量评价

把等效光幕亮度加到背景亮度和物体亮度两者之上，有效背景亮度和对比都会发生变化。

(1) 有效对比亮度会增加，由  $L_v$  变为

$$L_{v\text{有效}} = L_v + L_b$$

(2) 对比降低，由  $C_s = \frac{|L_o - L_b|}{L_b}$  变为

$$C_{s\text{有效}} = \frac{|(L_o + L_v) - (L_b + L_v)|}{L_b + L_v} = \frac{|L_o - L_b|}{L_b + L_v}$$

即

$$C_{s\text{有效}} = \frac{L_v}{L_b + L_v} C_s$$

式中  $L_b$ ——背景亮度；

$L_{v\text{有效}}$ ——有效背景亮度；

$L_o$ ——物体亮度；

$C_s$ ——没有眩光源时的物体亮度对比；

$C_{s\text{有效}}$ ——有眩光源存在时的物体有效亮度对比。

## (一) 道路照明质量评价

### (1) 失能眩光

阈值增量 (TI)，定义为在有眩光存在的条件下又能刚好看到物体所需要增加的额外对比与有效对比的比值。

阈值增量是将平均路面亮度作为背景亮度，当背景亮度范围为  $0.05 \text{ cd/m}^2 < L_b < 5 \text{ cd/m}^2$  时，TI 的计算公式近似为

$$TI = 65 \times \frac{L_v}{L_b} \times 100\%$$

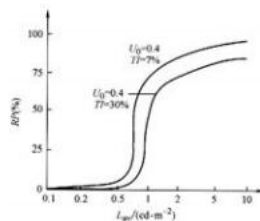
式中 TI——相对阈值增量(%)；

$L_v$ ——等效光幕亮度 ( $\text{cd/m}^2$ )，假定观察者总是以与水平线成  $1^\circ$  角注视与路轴平行的正前方 (即一直注视其前方 90m 路面上的一点)；

## (一) 道路照明质量评价

### (1) 失能眩光

保持道路的亮度总均匀度为 0.4 不变的条件下，改变眩光



相对阈值增量 TI 与显示能力 RP 之间的关系

## (一) 道路照明质量评价

### (2) 不舒适眩光

影响眩光控制等级 G 的因素包括：

(1) 灯具和光源方面：

1) 在  $C-\gamma$  系统中， $C=0$ ， $\gamma=80^\circ$  的绝对光强，即在平行于道路轴线的垂直平面内，从灯具的最下点算起， $80^\circ$  方向的光强，即  $I_{80}$ 。

2)  $C=0$ ， $\gamma=80^\circ$  方向的绝对光强与  $C=0$ ， $\gamma=88^\circ$  方向的绝对光强的比值，即  $I_{80}/I_{88}$ 。

3) 从灯具垂直正下方起  $76^\circ$  方向上所看到的灯具的发光面积，即  $F$ 。

4) 所用光源的颜色系数，以  $C$  表示。当使用的光源为低压钠灯时， $C=0.4$ ；高压钠灯时， $C=0.1$ ；高压汞灯时， $C=-0.1$ ；其他光源时， $C=0$ 。

(2) 设施布置方面：

1) 平均路面亮度，即  $L_a$ 。

2) 水平视线 (1.5m) 距灯具的高度，即  $h'$ 。

3) 每千米的灯具数量，即  $p$ 。

## (一) 道路照明质量评价

这些参数和眩光控制等级  $G$  之间有如下关系:

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{10} + 1.3 (\log(I_{10}/I_{18}))^{1/2} - 0.08 \log(I_{10}/I_{18}) + 1.29 \log F + 0.97 \log L_{\text{av}} + 4.4 \log h' - 1.46 \log p + C$$

需要注意的是, 式(1-7)中的各个参数只适合于下列范围:

$$\begin{aligned} 50 \text{cd} \leq I_{10} \leq 7000 \text{cd}; & & 5 \text{m} \leq h' \leq 20 \text{m}; \\ 1 \leq I_{10}/I_{18} \leq 50; & & 20 \leq p \leq 100; \\ 0.007 \text{m}^2 \leq F \leq 0.4 \text{m}^2; & & \\ 0.3 \text{cd/m}^2 \leq L_{\text{av}} \leq 7 \text{cd/m}^2; & & \end{aligned}$$

眩光控制等级  $G$  与主观评价的关系

$G$	眩光感受程度	主观评价	$G$	眩光感受程度	主观评价
1	无法忍受的眩光	感觉很坏	7	令人感觉满意	感觉好
3	有干扰的眩光	感觉有些心烦	9	几乎感觉不到眩光	感觉非常好
5	刚好容许的眩光	可以接受			

## (一) 道路照明质量评价

### 4.环境比

环境比的作用是保证道路外边有足够的照明能将物体展示出来。环境比的定义是路边5m宽的区域中的平均亮度与道路上自路缘起算的5m宽区域内平均亮度的比值。如果道路的宽度小于10m, 则取道路的一半宽度进行计算。一般情况下, SR 不应低于0.5。

### 5.视觉诱导性

#### 道路照明的诱导性

- 道路设施诱导
- 光学诱导

## (二) 路面特性及分类

### 1.亮度系数

亮度系数定义为: 某一点上的亮度与改点上照度的比值, 即

$$q(\alpha, \beta, \gamma) = \frac{L(\alpha, \beta, \gamma)}{E}$$

路面的反光特性可采用简化亮度系数描述。

CIE使用了3个参数

$Q_0$  在一定立体角内测定的亮度系数的平均值  
镜面系数  $S_1$  和  $S_2$  (描述了路面的镜面性或光泽性)

## (二) 路面特性及分类

### 2.路面分类

目前, 根据路面的平均亮度  $Q_0$  和镜面系数  $S_1$ , 国际上对干燥路面的划分有三类: R 系列、N 系列和 C 系列。

R 类干燥路面定义

类别	$S_1$ 范围	$S_1$ 标准值	$Q_0$ 标准值
R <sub>1</sub>	$S_1 < 0.42$	0.25	0.10
R <sub>2</sub>	$0.42 \leq S_1 < 0.85$	0.58	0.07
R <sub>3</sub>	$0.85 \leq S_1 < 1.35$	1.11	0.07
R <sub>4</sub>	$1.35 \leq S_1$	1.55	0.08

## (二) 路面特性及分类

N 类干燥路面定义

类别	$S_1$ 范围	$S_1$ 标准值	$Q_0$ 标准值
N <sub>1</sub>	$S_1 < 0.28$	0.18	0.10
N <sub>2</sub>	$0.28 \leq S_1 < 0.60$	0.41	0.07
N <sub>3</sub>	$0.60 \leq S_1 < 1.30$	0.88	0.07
N <sub>4</sub>	$1.30 \leq S_1$	1.61	0.08

C 类干燥路面定义

类别	$S_1$ 范围	$S_1$ 标准值	$Q_0$ 标准值
C <sub>1</sub>	$S_1 \leq 0.4$	0.24	0.10
C <sub>2</sub>	$S_1 > 0.4$	0.97	0.07

## (二) 路面特性及分类

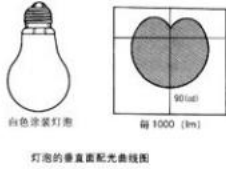
根据所使用的材料对路面进行分类

类别	说明
R <sub>1</sub>	(1) 沥青类路面, 包括含有 15% 以上的人工增光材料或 30% 以上的钙长石一类的石料 (2) 路面的 80% 覆盖含有碎料的陶面材料, 碎料主要由人造发光材料或 100% 由钙长石一类的石料所组成 (3) 混凝土路面
R <sub>2</sub>	(1) 路面纹理粗糙 (2) 沥青路面, 含有 10%~15% 的人工增光材料 (3) 粗糙, 带有砾石的沥青混凝土的路面, 砾石的粒径不小于 10mm, 且所含砾石大于 60% (4) 新铺设的沥青砂路面
R <sub>3</sub>	(1) 沥青混凝土路面, 所含的砾石粒径大于 10mm, 纹理粗糙 (2) 纹理已被磨亮
R <sub>4</sub>	(1) 使用了几个月的沥青砂路面 (2) 路面相当光滑或纹理已被磨平至发亮

## 第七章 道路照明灯具

### (一) 灯具的分类

#### (1) 按配光分类



垂直配光曲线图	直接式照明		半直接式照明
	A	B	C
百分比	0~10%	10~30%	10~40%
照度	0~10%	10~30%	10~40%
效果	<ul style="list-style-type: none"> <li>水平面照度容易得到</li> <li>物体表面显得清晰</li> <li>用白炽灯和HID灯容易产生严重的阴影</li> <li>灯具A在直射配光区A上有光,所以灯具显得明亮</li> <li>B没有直射配光,因为光在C区也受到抑制,所以光幕反射配光也可以减少</li> <li>C是非对称配光,通过选择灯具得到适当位置</li> <li>灯具D的上下表面距离变高了,但光幕反射配光也容易产生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>为了使顶棚和墙面稍亮一些,所以与直接式相比,产生的阴影就柔和暗淡一些</li> <li>要注意灯具的亮度不要太大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>根据顶棚及墙面的反光率,照明效率将会有明显差别</li> <li>物体的立体表现差</li> <li>虽然顶棚变亮了,但另一方面,灯具容易形成黑色轮廓影像</li> <li>I容易在顶棚表面上产生投光点</li> <li>J、K是连续配灯,可以更加均匀地照亮顶棚表面,因此,低顶棚的宽大房间,会使人感到顶棚高度显得高</li> </ul>

全面扩散式照明	直接式照明	半直接式照明	间接式照明
F	G	H	I
40~60%	60~90%	40~10%	90~100%
60~40%	40~10%	10~0%	
<ul style="list-style-type: none"> <li>可以用乳白色球形灯罩或像灯笼那样的灯具得到</li> <li>要注意灯具的亮度不要太大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不易产生眩光,对眼睛有好处</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>因为顶棚面和照明灯具都明亮,很难使空间有黑暗形象</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>根据顶棚及墙面的反光率,照明效率将会有明显差别</li> <li>物体的立体表现差</li> <li>虽然顶棚变亮了,但另一方面,灯具容易形成黑色轮廓影像</li> <li>I容易在顶棚表面上产生投光点</li> <li>J、K是连续配灯,可以更加均匀地照亮顶棚表面,因此,低顶棚的宽大房间,会使人感到顶棚高度显得高</li> </ul>

### (一) 灯具的分类

#### 2. 按光束角分类

##### (1) 道路照明灯具按截光性能分类

道路照明灯具按截光性能的分类

灯具类型	最大光强值的方向	在下列方向允许的最大光强值	
		90°	80°
截光型	0°~65°	10cd/1000lm <sup>①</sup>	30cd/1000lm
半截光型	0°~75°	50cd/1000lm <sup>①</sup>	100cd/1000lm
非截光型	—	1000cd	—

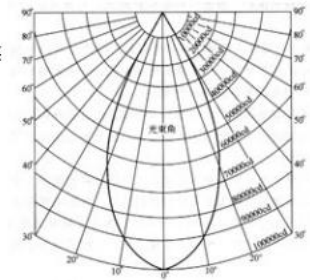
① 不论光源发出多少光通量,光强最大值不得超过1000cd。

### (一) 灯具的分类

#### 2. 按光束角分类

##### (2) 投光灯具按光束角分类

光强为峰值光强  
1/10的光束的夹角



投光灯光束角的图示(本例中的灯具光束角为60°)

### (一) 灯具的分类

#### (2) 投光灯具按光束角分类

投光灯的 NEMA 分类

序号	光束角/(°)	光束分类	序号	光束角/(°)	光束分类
NN	<5	特窄光束	4	47~70	中光束
N	5~10	很窄光束	5	71~100	中等宽光束
1	11~18	窄光束	6	101~130	宽光束
2	19~29	较窄光束	7	>130	特宽光束
3	30~46	中等宽光束			

荷兰规定的投光灯分类

序号	光束角	光束分类
1	10~25	窄光束
2	25~40	中光束
3	>40	宽光束

### (一) 灯具的分类

#### 3. 按防触电保护形势分类

分为0、I、II、III等4类

**0类灯具:** 依靠基本绝缘作为防触电保护的灯具。

**I类灯具:** 不仅依靠基本绝缘,而且还有附加安全措施,即把易触及导电部件连接到设施的固定线路中的保护导线上。

**II类灯具:** 不仅依靠基本绝缘,而且还有附加安全措施,如双重绝缘或加强绝缘;

**III类灯具:** 防触电保护依靠电源电压为安全特低电压(SELV),交流有效值<50V,并且,灯具内不会产生高于此值的电压。



## (一) 灯具的分类

### 4. 按灯具的防尘、防水等级分类

IP+两个数字

防护等级特征数字的意义

第一位特征数字	说明	含义
0	无防护	没有特别的防护
1	防护大于50mm的固体异物	人体某一大面积部分,如手(但不防护有意识的接近),直径大于50mm的固体异物
2	防护大于12mm的固体异物	手指或类似物,长度不超过80mm,直径大于12mm的固体异物
3	防护大于2.5mm的固体异物	直径或厚度大于2.5mm的工具、电线等,直径大于2.5mm的固体异物
4	防护大于1mm的固体异物	厚度大于1mm的线材或薄片,直径大于1mm的固体异物
5	防尘	不能完全防止灰尘进入,但进入量不能达到妨碍设备正常工作的程度
6	尘密	完全防止进入

## 防护等级特征数字的意义

第二位特征数字	说明	含义
0	无防护	没有特别的防护
1	防滴	滴水(垂直滴水)应没有影响
2	15°防滴	当外壳从正常位置倾斜不大于15°以内时,垂直滴水无有害影响
3	防淋水	与垂直线成60°范围内的淋水无影响
4	防溅水	任何方向上的溅水无有害影响
5	防喷水	任何方向上的喷水无有害影响
6	防猛烈海浪	经猛烈海浪或经猛烈喷水后,进入外壳的水量不致达到有害程度
7	防浸水	浸入规定水压的水中,经规定时间后,进入外壳的水量不会达到有害程度
8	防潜水	能按制造厂规定的要求长期潜水

## (一) 灯具的分类

### 4. 按灯具的防尘、防水等级分类

两位特征数字可能的配合

可能配合的组合	第二位特征数字									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
第一位特征数字	0	IP00	IP01	IP02						
	1	IP10	IP11	IP12						
	2	IP20	IP21	IP22	IP23					
	3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
	4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44				
	5	IP50				IP54	IP55			
	6	IP60					IP65	IP66	IP67	IP68

## (一) 灯具的分类

### 4. 按灯具的防尘、防水等级分类

灯具防护等级标记与符号的对照

标记	符号	说明	标记	符号	说明
IP20	/	/	IPx7	☾☾	2滴
IPx1	☾	1滴	IPx8	☾☾...m	2滴后用水表示的最大浸没深度
IPx3	☾	正方形内含1滴	IP4x	/	/
IP4	☾	三角形内含1滴	IP5x	▨	无板网格
IPx5	☾☾	2个三角形内含各1滴	IP6x	▧	有板网格

灯具中常用材料的反射、透射和吸收系数

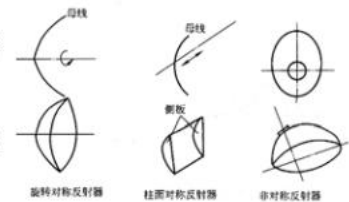
类型	材料名称	厚度/mm	材料光学性质		
			反射系数ρ(%)	透射系数τ(%)	吸收系数α(%)
金属	普通铝板(抛光)		71~76		24~29
	高纯度铝板(电化抛光)		84~86		14~16
	铝表面喷砂处理		70~80		20~30
	不锈钢板		55~60		40~45
	搪瓷玻璃镜面		83		17
玻璃	普通透明玻璃	3~6		84~90	
	磨砂玻璃	3		75	
	磨砂玻璃	6		68	
	乳白玻璃	1.5		64	
	钢化玻璃	6		85	
	玻璃	6		85	
塑料	有机玻璃	2~6		91~92	
	聚苯乙烯			75~83	
	聚苯乙烯			75~83	
	聚碳酸酯			74~81	
	玻璃纸(本色)			85	

## (三) 灯具的光学设计

### 1. 灯具反射器的设计

通过反射式光学系统来控制灯具的出射光。

用反射材料做成的控光元件称为反射器。



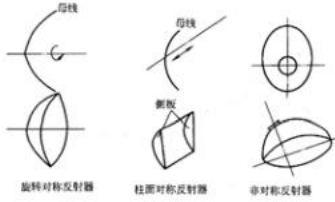
常用反射器的基本类型

### (三) 灯具的光学设计

#### 1. 灯具反射器的设计

通过反射式光学系统来控制灯具的出射光。

用反射材料做成的控光元件称为反射器。



常用反射器的基本类型

反射器的几种基本形式及光学特性

光学特性	方程式	特点
<p>球面反射器</p>	$O$ 是球面镜的曲率中心 $r$ 是曲率半径 顶点与球心连线为球面镜光轴	光源置于球心 $O$ 时光线仍按法线方向原路返回
<p>椭圆面反射器</p>	$2a$ 椭圆长轴, $a^2 - b^2 = c^2$ $2b$ 椭圆短轴, $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 焦点 $F_1, F_2$ 坐标 $F_1(-c, 0)$ $F_2(c, 0)$	光源置于椭圆任一焦点时光线经椭圆面反射后会聚在另一焦点处并向外扩散
<p>抛物面反射器</p>	$y^2 = 4fx$ $y = 2\sqrt{fx}$ $f$ —焦距 $F$ —焦点 $F$ 点坐标 $(f, 0)$	光源置于焦点 $F$ 时光线经抛物面反射后均平行于 $ox$ 轴

### (三) 灯具的光学设计

#### 1. 灯具反射器的设计

光学特性	方程式	特点
<p>双曲面反射器</p>	$2a$ 双曲线实轴, $a^2 + b^2 = c^2$ $2b$ 双曲线虚轴, $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ 焦点坐标 $F_1(-c, 0)$ $F_2(c, 0)$ 双曲线顶点坐标: $A_1(-a, 0), A_2(a, 0)$	光源置于双曲面焦点时光线经双曲面反射后发散
<p>菲涅尔透镜</p>		光源置于菲涅尔透镜焦点时光线经透镜射出后均平行于水平轴

反射器的几种基本形式和光学特性

### (三) 灯具的光学设计

灯具反射器材料的光学性质

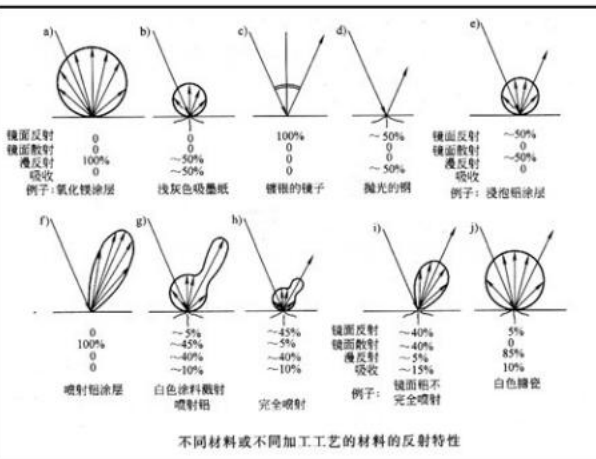
材料	光度度	扩散反射率 / (%)	镜面反射率 (垂直入射) / (%)	透射率 (垂直入射) / (%)	折射指数	临界角 / (°)
铝(工业级)	阳极氧化、抛光	0	70			
铝(高纯度)	阳极氧化、抛光	0	80			
镀铝玻璃或塑料	镜面	0	94			
铝	薄金属板	0	65			
不锈钢	抛光		60			
铜	白色涂料、粗糙	7.5 以上	5			
硼硅玻璃(3mm)	抛光	0	8	92	1.62	38
钠玻璃(3mm)	抛光	0	8	92	1.52	41
透明聚苯(3mm)	抛光	0	8	92	1.49	42
透光聚苯(3mm)	抛光	10-15	4	50-80		
聚苯乙烯(3mm)	抛光	0	8	92	1.65	39
聚氯乙烯(PVC)(3mm)	抛光	0	8	88	1.52	41
聚碳酸酯(LS)(3mm)	抛光	0	8	88	1.58	30
乙酰胺纤维(LS)(3mm)	抛光	0	8	85	1.47	43

### (四) 灯具的光学特性

#### 1. 光强空间分布特性

光强空间分布特性是用曲线来表示的, 因而该曲线又称为配光曲线。一般有三种方法来表示配光曲线

- 极坐标方法
- 直角坐标方法
- 等光强曲线方法

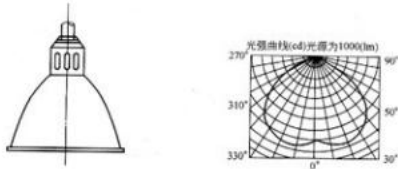


不同材料或不同加工工艺的材料反射特性

## (四) 灯具的光学特性

### 1. 光强空间分布特性

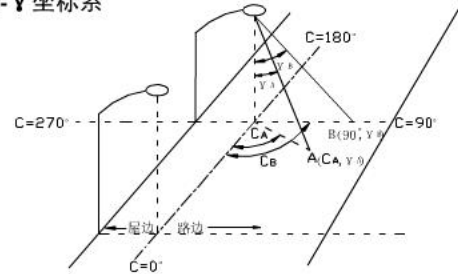
#### (1) 极坐标配光曲线



## (四) 灯具的光学特性

### (1) 极坐标配光曲线

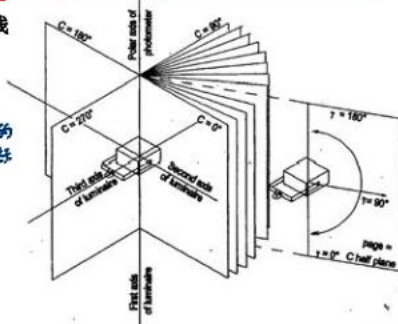
#### C- $\gamma$ 坐标系



## (四) 灯具的光学特性

### (1) 极坐标配光曲线

国际照明学会推荐的分布光度C- $\gamma$ 坐标系



## (四) 灯具的光学特性

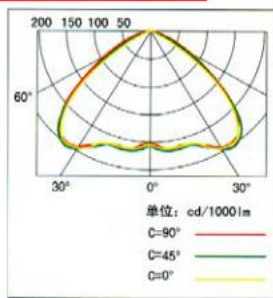
### (1) 极坐标配光曲线

配光曲线按照对称性质通常可分为轴向对称、对称和非对称配光。

轴向对称：又被称为旋转对称，指各个方向上的配光曲线都是基本对称的，一般的筒灯、工矿灯都是这样的配光

对称：当灯具的C0和C180剖面配光对称，同时C90和C270剖面配光对称时，这样的配光曲线称为对称配光。

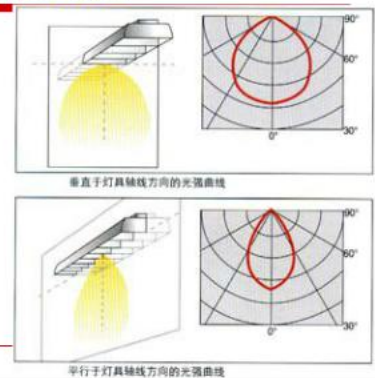
## (四) 灯具的光学特性



轴对称灯具配光曲线

## (四) 灯具的光学特性

### 对称配光

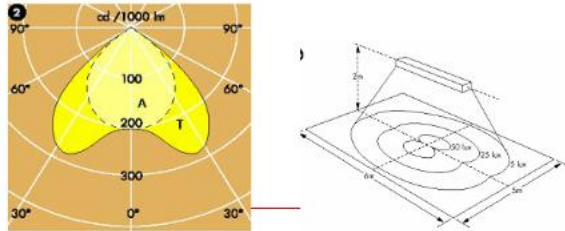


#### (四) 灯具的光学特性

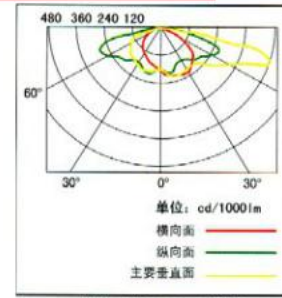
例1: 管形荧光灯的配光曲线(两剖面形成的曲线)

T—(0°-180°) 水平面配光 A—(90°-270°) 水平面配光

相关图片如下: 等照度线 (lux/1000lm) (极坐标图)

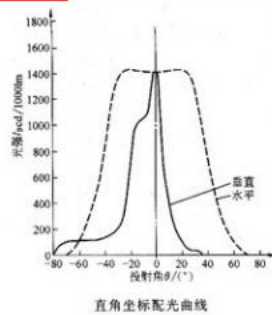


#### (四) 灯具的光学特性



#### (四) 灯具的光学特性

##### (2) 直角坐标配光曲线

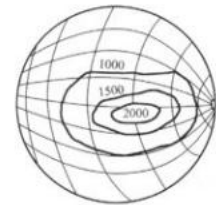


#### (四) 灯具的光学特性

##### (3) 等光强曲线图

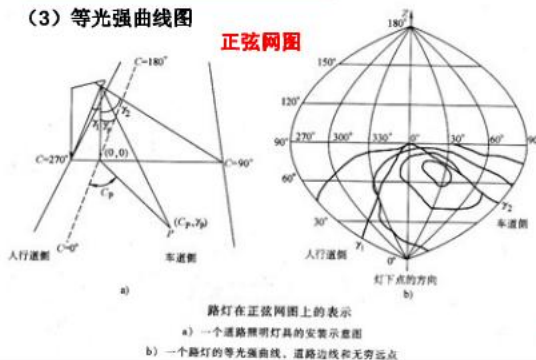
对于非对称配光的灯具, 一般才用等光强图的方法来描述。

将光源放置于一个球体的中心, 把发光体射向球体上光强相同的各方向的点用线连接起来, 成为封闭的曲线, 就称为等光强线。



#### (四) 灯具的光学特性

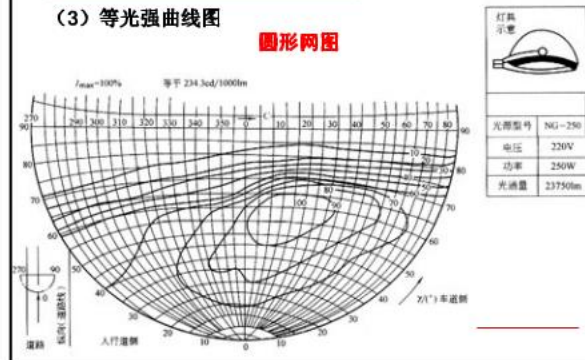
##### (3) 等光强曲线图



#### (四) 灯具的光学特性

##### (3) 等光强曲线图

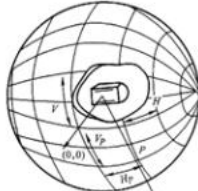
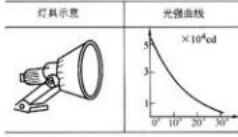
##### 圆形网图



## (四) 灯具的光学特性

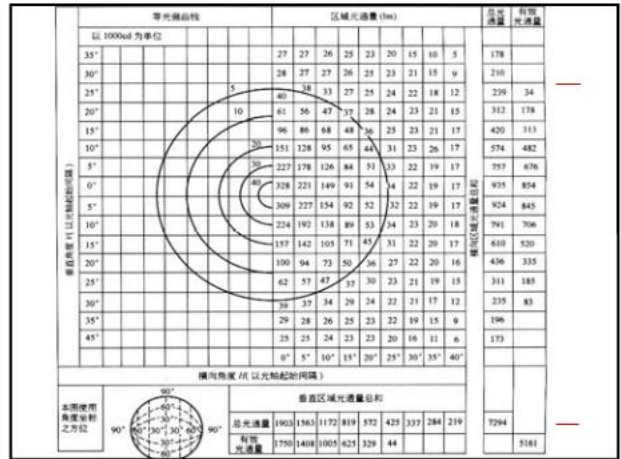
### (3) 等光强曲线图

矩形网图



投光灯采用的角度坐标

光源数据		光度数据	
型号	NG-400	峰值光强 $I_{max}$	53720cd(0°<math>\leq\theta</math>°)
功率	400W	灯具有效效率	24.6%
供电电压	220V	有效光通量	10322lm
工作电压		灯具效率	54.7%
每灯具光通量	1	灯具总光通量	14588lm
光源光通量	42000lm	光角度	54°H×54°V

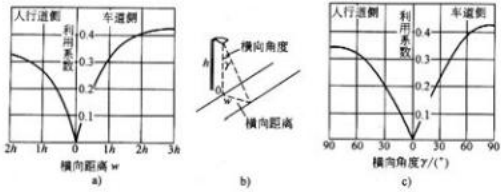


## (四) 灯具的光学特性

### 2. 导出光度数据

#### (1) 利用系数曲线

定义为由灯具发出的、直接到达路面的那部分光通量和光源光通量的比。

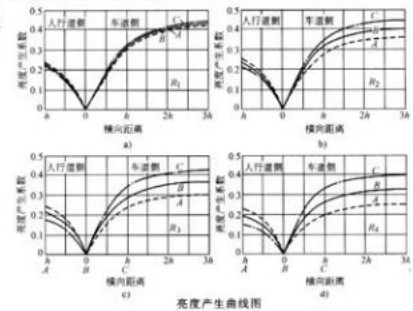


a) 横坐标为横向距离 b) 灯具各安装参数与道路关系示意图 c) 横坐标为横向角度

## (四) 灯具的光学特性

### (2) 亮度产生曲线

计算路上的平均亮度需要用到亮度产生曲线。

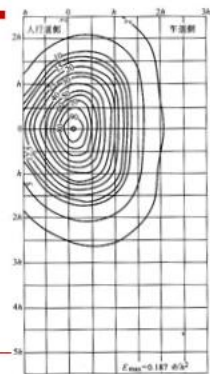


亮度产生曲线图  
a)  $R_1$  类路面亮度产生曲线图 b)  $R_2$  类路面亮度产生曲线图  
c)  $R_3$  类路面亮度产生曲线图 d)  $R_4$  类路面亮度产生曲线图

## (四) 灯具的光学特性

### (3) 等照度曲线

等照度曲线可用于做路面逐点照度计算时使用。



## (四) 灯具的光学特性

### (4) 等亮度曲线

等亮度曲线可用于计算路上各点的亮度。

