

绿色照明丛书



学校照明

编著 屠其非 徐蔚



13.6-51
2;2

清华大学出版社

学校照明

编著 屠其非 徐蔚



复旦大学出版社

www.fudanpress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

学校照明/屠其非,徐蔚编著. —上海:复旦大学出版社,2004.7
(绿色照明丛书)
ISBN 7-309-04051-1

I. 学… II. ①屠…②徐… III. 教室-照明设计 IV. TU113.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 052923 号

学校照明

屠其非 徐 蔚 编著

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65109143(邮购)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 范仁梅

装帧设计 孙 曙

总 编 辑 高若海

出 品 人 贺圣遂

印 刷 浙江省临安市曙光印务有限公司

开 本 787×960 1/16

印 张 11.25 插页 2

字 数 208 千

版 次 2004 年 7 月第一版第一次印刷

印 数 1—4 100

书 号 ISBN 7-309-04051-1/O · 325

定 价 17.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

前 言

随着人类文明的不断进步、科学技术的不断发展,照明已成为人们生活中不可或缺的一个重要组成部分. 现代照明不仅仅是对光的需求,更是对舒适、人性化的光环境的需求. 学校作为培养未来人才的地方,合理、高效的照明就更为重要.

在现代化建设中,必须实施可持续发展战略,而“绿色照明工程”是可持续发展战略中的一个重要内容. 绿色照明的推广,一方面可以大幅度节约照明用电、减少发电排污,有利于环境保护;一方面可以改善照明质量,形成高效、经济、舒适、安全可靠的照明环境. 但是,消费者对于绿色照明的意义及高效照明电器产品和照明设计的认知度还有待提高. 因此,我们期望这套照明丛书的出版对绿色照明的宣传、推广有一定促进作用.

在本书的编著过程中,国家发展和改革委员会环境资源司刘显法副司长、吕文斌副处长、中国绿色照明促进项目办公室韩文科主任和刘虹副主任给予许多关心和指导,得到 Adam W. Hinge 先生、周太明教授、宋贤杰教授和萧弘清博士的大力帮助. 该项目还受到 UNDP 和 GEF 的鼎力支持. 此外,袁樵、周莉对本书的编写也提供了帮助. 在此一并表示感谢.

由于编者水平所限,谬误之处,请予以批评指正.

编著者
2003 年 12 月

目 录

第一章 照明的基本概念	1
1.1 相关概念	1
1.1.1 光度量	1
1.1.2 颜色	3
1.1.3 视觉和光环境	5
1.2 照度计算	11
1.2.1 利用系数法求平均照度	11
1.2.2 逐点计算法	18
第二章 学校照明的质量要求	24
2.1 学校照明的重要性	24
2.2 学校照明的国内标准、CIE 标准及部分其他国家的标准	25
2.2.1 国内标准	25
2.2.2 CIE 标准	26
2.2.3 其他国家的标准	27
2.3 国内学校照明的现状	28
2.3.1 教室采光	28
2.3.2 桌面照度	28
2.3.3 黑板照明	29
2.3.4 眩光	29
2.3.5 “强光弱色”的视觉环境	29
2.3.6 频闪	30
2.3.7 照明控制	30
2.4 照明节能标准	30
第三章 学校照明用光源及电器附件	32
3.1 白炽灯和卤钨灯	32
3.1.1 白炽灯的结构	32
3.1.2 白炽灯的主要类型	33
3.1.3 白炽灯的工作特性	34

3.1.4 卤钨灯	35
3.2 荧光灯简介	36
3.2.1 荧光灯的结构	36
3.2.2 荧光灯的工作原理	38
3.2.3 荧光灯的工作特性	39
3.3 直管荧光灯	43
3.3.1 38 mm(T12)直径荧光灯	43
3.3.2 25 mm(T8)直径荧光灯	44
3.3.3 15 mm(T5)直径荧光灯	44
3.4 镇流器	45
3.4.1 镇流器的作用	45
3.4.2 镇流器的常用指标	46
3.4.3 电感镇流器和电子镇流器	48
3.5 荧光灯的启动和工作电路	52
3.5.1 带启动器的预热启动电路	53
3.5.2 不带启动器的预热启动电路	55
第四章 学校用照明灯具的选择	57
4.1 灯具的特性	57
4.1.1 光分布	57
4.1.2 灯具亮度分布和保护角	58
4.1.3 灯具效率	59
4.2 灯具的基本分类	59
4.2.1 按电气安全要求分类	60
4.2.2 按照度的维护性能分类	62
4.2.3 按光度性能分类	63
4.3 灯具眩光控制	64
4.3.1 眩光的分级	65
4.3.2 亮度限制曲线及其应用	65
4.3.3 头顶眩光	67
4.4 学校照明常用灯具的种类及其选择	67
4.4.1 学校照明灯具选择的基本原则	67
4.4.2 格栅灯具	68
4.4.3 黑板灯具	70
第五章 学校照明的控制	72

5.1 照明控制的策略和方式	72
5.1.1 照明控制的策略	72
5.1.2 照明控制的方式	73
5.1.3 照明控制方案的选择	76
5.1.4 照明控制的投入使用	78
5.2 常用控制元件	79
5.2.1 手动开关	79
5.2.2 人员动静探测器	79
5.2.3 光敏传感器	82
5.2.4 时钟控制器	83
5.2.5 控制器	83
第六章 学校照明设计	85
6.1 学校照明设计的基本要求	85
6.1.1 照度	85
6.1.2 反射率	86
6.1.3 亮度比	87
6.1.4 眩光	88
6.2 普通教室照明	88
6.2.1 教室的一般照明	89
6.2.2 黑板照明	90
6.2.3 阶梯教室(报告厅)照明	91
6.3 图书馆照明	92
6.3.1 阅览室照明	92
6.3.2 书库照明	93
6.4 特殊教室的照明	94
6.4.1 电脑教室	94
6.4.2 绘画、工艺美术等教室	95
6.4.3 实验室	95
6.4.4 视听教室	95
6.4.5 特殊学生的教室照明	95
6.5 其他区域照明	96
6.5.1 体育馆和多功能厅	96
6.5.2 餐厅	96
6.5.3 走廊	96

第七章 学校照明方案介绍	97
7.1 教室照明案例一	97
7.1.1 方案一	97
7.1.2 方案二	100
7.2 教室照明案例二	101
7.2.1 方案一	101
7.2.2 方案二	105
7.3 教室照明案例三	107
7.4 电脑教室照明设计案例	112
7.5 一个小学的照明设计案例	117
7.5.1 教室照明	117
7.5.2 图书馆照明	122
7.5.3 体育馆照明	124
7.5.4 餐厅、礼堂照明	126
7.5.5 走廊照明	128
7.5.6 能源分析	129
7.6 一个中学的照明设计案例	129
7.6.1 餐厅照明	130
7.6.2 图书馆照明	132
7.6.3 艺术教室照明	135
7.6.4 能源分析	137
7.7 某大学建筑学院绘图教室照明改造案例	138
7.7.1 绘图教室试点照明改造方案的实施	138
7.7.2 教室概况	138
7.7.3 照明改造效果	139
7.7.4 分析与结论	144
7.7.5 黑板照度记录	145
7.8 某大学核磁共振及仪器实验室照明改造	146
7.9 某中学的照明改造	148
7.10 某小学的照明改造	150
7.11 某幼儿园的照明改造	152
7.12 一所小学的照明改造	154
7.13 一个学校餐厅的照明改造	156
第八章 学校照明的现场测量	159

8.1 照度计	159
8.2 室内照度的测量	162
8.2.1 典型单元面积测定法	163
8.2.2 近似测定法	167
8.3 亮度计与亮度测量	168
8.3.1 亮度计	168
8.3.2 室内亮度的测量	169
参考书目	171

第一章

照明的基本概念

1.1 相关概念

1.1.1 光度量

1. 光通量

光源在单位时间内发出的光量称为光源的光通量,通常用符号 Φ 表示,单位为 lm(流明).

2. 光强

光源在给定方向上,单位立体角内发出的光通量称为光源在该方向上的发光强度(简称光强),用 I 表示,单位为 cd(坎德拉,烛光). 如图 1.1.1 所示,对于点光源 S ,取某一方向上微小立体角 $d\omega$,在此立体角内光源发出的光通量为 $d\Phi$,则光源在此方向上的光强为

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (1.1.1)$$

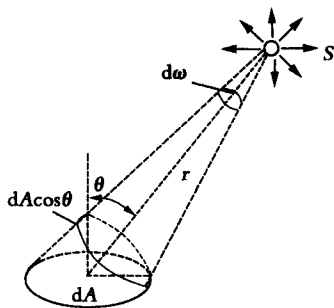


图 1.1.1 光强和立体角的定义

立体角是指任意封闭的圆锥面内所包含的空间,单位为 sr(球面度),一个球体所包含的球面度为 4π . 立体角通常可由该圆锥内任一垂直于该方向的截面的面积和该截面与圆锥顶点的距离求得,即

$$d\omega = \frac{dA \cos \theta}{r^2}. \quad (1.1.2)$$

因此, $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} \cdot (\text{sr})^{-1}$. 光强是用于表征发光体空间光分布情况的量.

3. 照度和光出度

在被照表面(A)上,单位面积内接收到的光通量称为照度,是表征被照面被照明程度的量(见图 1.1.2(a)),即

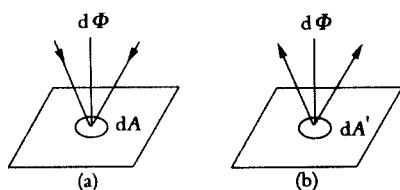


图 1.1.2 照度和光出度
(a) 照度; (b) 光出度

$$E = \frac{d\Phi}{dA}, \quad (1.1.3)$$

单位为 lx (勒克斯), $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$. 在北美, 更常用的照度单位是 fc (英尺烛光), $1 \text{ fc} = 10.76 \text{ lx}$. 通常, 在满月的夜晚地面照度为 0.2 lx , 白天采光良好的室内照度为 $100 \sim 500 \text{ lx}$, 晴朗室外太阳非直射下的地面照度为 $10^3 \sim 10^4 \text{ lx}$, 而中午太阳照射下的地面照度可

达 10^5 lx .

对于点光源在某接收面上某一点产生的照度 (如图 1.1.3 所示), 可以用余弦定律求得

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2}. \quad (1.1.4)$$

式中, E 为受照面参考点上的照度, I 为光源在此方向上的光强, θ 为光线入射角, r 为光源到参考点的距离.

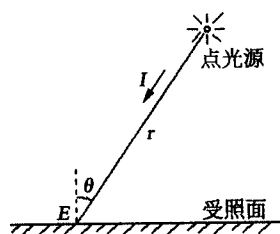


图 1.1.3 余弦定律示意图

光出度主要针对面光源而言, 对于有一定表面积的发光体, 在不同位置上的发光强度可能不同, 因此需要用光出度来表征. 由此可见, 光出度是指单位面积发光面 (A') 发出的光通量 (见图 1.1.2(b)), 即

$$M = \frac{d\Phi}{dA'}, \quad (1.1.5)$$

单位为 $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$. 需要指出的是, 这里研究的面光源不仅指自身发光的光源, 也包括某个不发光的表面受到光照后成为发光的二次发光面的情况, 其光出度为

$$M = \rho E, \quad (1.1.6)$$

ρ 为被照面的反射系数. 对于因透射而发光的二次发光面, 其光出度为

$$M = \tau E, \quad (1.1.7)$$

τ 为被照面的透射系数.

照度和光出度有相类似的定义式和相同的量纲, 其区别在于照度表示受照面所接收到的光通量的表面密度, 而光出度表示发光面发出的光通量的表面密度.

4. 亮度

面光源在某个方向上, 单位投影面积、单位立体角内发出的光通量称为亮度 (见图 1.1.4), 即

$$L_{\theta,\varphi} = \frac{d\Phi}{d\omega \cdot dA \cdot \cos\theta} = \frac{I_{\theta,\varphi}}{dA \cdot \cos\theta}, \quad (1.1.8)$$

单位为 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。对于光强分布满足 $I_\theta = I_0 \cos\theta$ 的余弦辐射体,其亮度分布不随方向改变,为一常数,此类表面的光出度可表示为

$$M = \pi L. \quad (1.1.9)$$

表 1.1.1 给出了一些实际光源的亮度值以供参考。

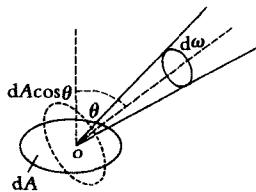


图 1.1.4 亮度

表 1.1.1 一些实际光源的亮度近似值

(单位: $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

光 源	亮度 ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)
无月的夜空	10^{-4}
地球上看到的满月表面	2.5×10^3
蓝天	8×10^3
钨丝灯	$(2 \sim 20) \times 10^6$
荧光灯	$(0.5 \sim 3.6) \times 10^4$
普通 CRT 显示器	$(1.5 \sim 3.5) \times 10^2$

1.1.2 颜色

1. 色温度

色温是对光源颜色的一种表示方法。当光源所发出的光的颜色与黑体在某一温度下的颜色相同时,这一黑体的温度称为该光源的颜色温度 T_c ,简称色温,用绝对温标表示,单位为 K(开尔文)。不同温度黑体的光色变化,在色度图上形成一个弧形轨迹,称为黑体轨迹(如图 1.1.5 所示)。热辐射光源(如白炽灯、卤钨灯等)的颜色变化基本与黑体轨迹相符。

对于以其他形式发光的光源,其光色不一定落在黑体轨迹上,此时只能用相关色温来表示。若光源发出的光与黑体在某一温度下的颜色最接近,则黑体此时的温度称为该光源的相关色温。

通常,色温高的光源光色偏蓝,色温低的光源光色偏红。表 1.1.2 列出了一些光源色温的比较与给人的感觉状况。

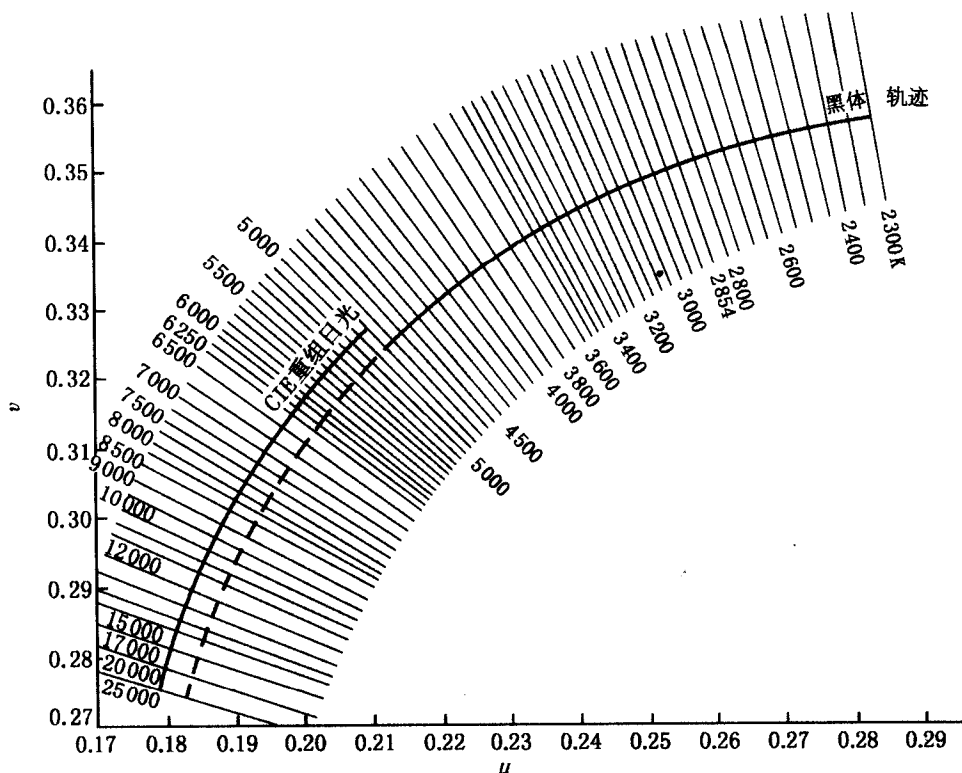
图 1.1.5 uv 色度图中的黑体轨迹和等色温线

表 1.1.2 常用光源的色温范围和人体感觉

色温范围(K)	感 觉	光 源	色温(K)
<3 300	温 暖	蜡烛	1 900
		高压钠灯	2 100
		白炽灯	2 850
		暖白色荧光灯	2 900
3 300 ~ 5 000	中 间	太阳(地表)	4 000 ~ 5 000
		冷白色荧光灯	4 300
		钠铊铟灯	4 200 ~ 5 000
		日光色荧光灯	6 500
>5 000	清 冷	太阳(大气外)	6 500
		蓝色天空	18 000 ~ 22 000

2. 显色指数

光源的颜色特性除了用色温表示其自身的颜色,即色表外,还有另外一个常用的评价指标——显色性。显色性是指光源的光照到物体上所产生的客观效

果。如果各色物体受某光源照射后的颜色效果和标准光源照射下一致,则认为该光源的显色性好;反之,如果物体被照射后颜色失真,则该光源的显色性就差。

我们之所以能看到色彩斑斓的物体,是物体将与它相同颜色的光进行反射、而其他颜色的光被吸收的结果。例如,我们看到蓝色的纸是因为它吸收了日光中其他颜色的光,而反射蓝光。由此可见,要体现某物体的颜色,首先照明的光源光谱中必须有这一颜色。例如,低压钠灯照射下的蓝纸是黑色的,因为低压钠灯中几乎没有蓝光。因此,显色性好的光源,其光谱分布应该能覆盖大部分可见光区域,如白炽灯。

光源的显色指数是对光源显色性的评价,用 R_a 表示。一般认为 $R_a = 100 \sim 80$ 显色性优良, $R_a = 80 \sim 50$ 显色性一般, $R_a < 50$ 显色性较差。对于颜色辨别要求高的场合,如摄影棚、体育馆、印刷等行业,需要用高显色指数光源,如白炽灯、镝灯、卤钨灯等,它们的显色指数 R_a 都达到 85 以上。而随着技术的发展,部分荧光灯的显色指数已从传统的 70~80 提高到 95 左右,同样能很好地满足颜色辨别要求高的场合。

通常,光源的色温和显色性没有直接的联系。例如,同样是低色温光源,白炽灯的显色指数达 95 以上,而高压钠灯仅为 20~25。

1.1.3 视觉和光环境

1. 对比度和可见度

在某一光环境中,要想识别对象,将所要观察的对象与环境区分开来,必须满足以下条件,即该对象和其所在环境的颜色或亮度有足够的差异或对比。用亮度对比度可以定量表述亮度差异。对比度为目标对象亮度和背景亮度之差与背景亮度之比,即

$$C = \frac{|L_o - L_b|}{L_b} = \frac{\Delta L}{L_b} \quad (1.1.10)$$

式中, C 为对比度, L_o 为目标对象亮度, L_b 为背景亮度, ΔL 为目标对象与背景亮度之差。

人眼刚能识别目标对象时,目标对象与背景之间的亮度差称为临界亮度差,以 ΔL_i 表示,则相应的临界对比度为

$$C_i = \frac{\Delta L_i}{L_b} \quad (1.1.11)$$

目标对象和背景的实际对比度 C 与临界对比度 C_i 的比值称为可见度,可见度是

表征人眼辨别物体存在和形状难易程度的一个量,为

$$V = \frac{C}{C_i} = \frac{\Delta L}{\Delta L_i} \quad (1.1.12)$$

可见度越高,目标看得越清楚.

2. 照度及其均匀度

刚能识别人的脸部特征的亮度约为 $1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, 在通常照明条件下, 这相当于 20 lx 的水平照度, 此照度值就取为非工作区的最小照度. 对于长期有人活动的房间, 其最小的照度要求为水平照度达到 200 lx , 此时能轻松而满意地看到人的脸部特征. 对于工作区的照明, 众多试验者认为, 为了得到很满意的视觉效果, 优先选择的照度范围为 $1000 \sim 2000 \text{ lx}$. 但从经济和节能的角度考虑, 对于一般的作业照明, 照度值比此范围低.

然而, 若长时间持续在恶劣的照明环境下进行视觉工作, 易引起疲劳, 从而导致眼痛、头痛、视力下降等症状. 因此对于不同的作业要求, 应综合考虑选择合适的照度值. 例如, 把文字的易读性作为心理学上的定量化指标, 研究字体的大小、照度和易读性三者之间的关系, 得出如图 1.1.6 所示的结果. 由此, 在照明设计中, 可根据文字作业中字体的大小, 在图中求出适宜照度, 作为设计参考. 一般, 对于学习和办公等视觉工作, 要求最低有 500 lx 的照度. 表 1.1.3 给出了各种场合和运动形式的推荐照度值, 表中的推荐值为整个工作区的平均维持照度, 而且是对一般情况而言的. 如果作业对象的反射率或对比度特别低, 矫正出错作业的价格昂贵, 或工作者的视力低于正常人等条件下, 就要采用比表中推荐值更高的照度. 相反, 如果作业对象反射率或对比度特别高, 作业速度和精度要求不高, 或作业只是偶尔进行, 则可采用低于推荐值的照度.

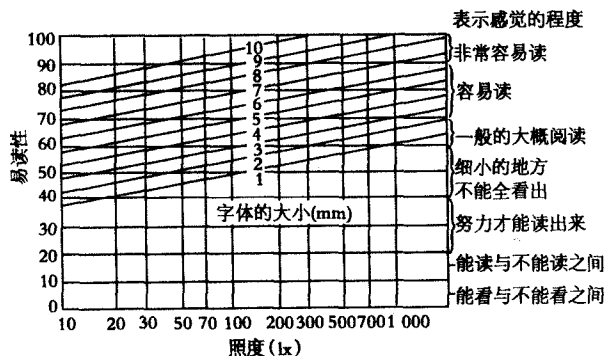


图 1.1.6 照度与易读性的关系

表 1.1.3 对各种场合和劳动形式的推荐照度值

场合或活动	推荐照度 (lx)
户外和非工作区域	20
通行区域、简单定向或短暂停留	100
不连续用于工作目的的房间	150
视觉简单的作业	300
一般视觉作业	500
对视觉有要求的作业	750
有困难视觉要求的作业	1 000
有特殊视觉要求的作业	1 500
非常精确的视觉作业	2 000

工作面上的照度除了要达到一定参考值之外,在工作表面上的照度还要求比较均匀。若在视野范围内存在明暗的急剧变化,会使眼睛需要不断调节以适应不同照度,同样会加速视觉疲劳。照度均匀度通常定义为最小照度与平均照度之比。对于一般照明而言,此值应不小于 0.8。在有附加的局部照明时,作业周围的照度不应小于作业区照度的 $1/3$ 。两个相邻的室内区域(如办公室与走廊)的平均照度的比值不得超过 5:1。

3. 亮度及其分布

在照明设计中,目标的亮度和视场中的亮度分布是十分重要的判据。对于给定的照度水平,亮度与物体表面的反射率直接相关。由于视场中各种物体的表面反射率不同,会导致它们的亮度不同。要使视场有良好的亮度平衡,必须对视场中物体的反射率进行选择。图 1.1.7 给出了工作室推荐的亮度分布。为了改善作业的视觉功能,可能的话,应该使作业周围的亮度比工作区的亮度低,但又不低于其 $1/3$ 。经验表明,要想改善视觉功能,除了重视亮度分布外,在作业区产生一些颜色对比也是很有帮助的,尤其是当作业区的亮度对比度较低时。

研究表明,优选的墙壁亮度与作业照度有关。当此值为 $500 \sim 1\,000\text{ lx}$ 时,墙壁亮度近似为 $50 \sim 100\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。要达到这样的亮度,墙壁的反射率为 $0.5 \sim 0.8$ 。

为了减少天棚与吸顶灯具之间的亮度差,产生舒适的整体印象,天棚的亮度一定要足够高。但是,为了防止天棚自身产生眩光,其亮度不能大于 $500\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从视觉满意的观点看,天棚的亮度值在 $100 \sim 300\text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 间为好。

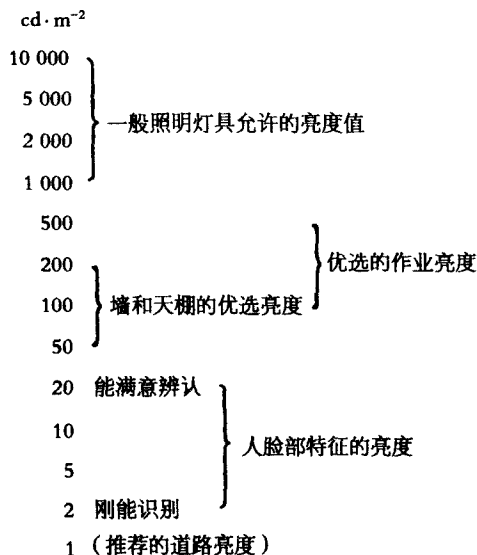


图 1.1.7 室内照明的亮度分布

4. 眩光

(1) 产生与分类

若视野内有亮度极高的物体或强烈的亮度对比,则可引起不舒服或可见度降

	环境亮度越低,眼睛的适应亮度越低,眩光越显著
	光源亮度越高,眩光越显著
	光源越接近视线,眩光越显著
	在视野内,光源面积越大,数目越多,眩光越显著

图 1.1.8 影响眩光程度的因素

低的现象,称为眩光。眩光是影响照明质量的重要因素,基本可分为不舒服眩光和失能眩光。前者使人产生不舒服、不愉快的感觉,而后者会使人的视觉功能暂时甚至永久下降。

眩光的产生,主要是由于光源亮度的关系。因此,影响眩光程度的因素主要有 4 方面,如图 1.1.8 所示。

根据眩光产生的方式可分为直接眩光和间接眩光。直接眩光是指来自视场中高亮度或没有充分遮蔽的发光体发出的光线直接对眼睛造成的刺激。此时,眩光源处于被观察物体的同一方向或临近方向。

当眩光源处于非观察方向时产生的眩光称为间接眩光,通常由高度光滑的表面反射光引起,有反射眩光和光幕反射两种。反射眩光是由于视场中抛光过的或