

国外照明设计丛书

照明设计 LIGHTING

(原著第六版)

[英] D·C·普里查德 著

程天汇 徐蔚 译
袁樵 张昕

中国建筑工业出版社

国外照明设计丛书

照明设计

(原著第六版)

[英] D·C·普里查德 著
程天汇 徐蔚 袁樵 张昕 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2003-4542 号

图书在版编目 (CIP) 数据

照明设计：原著第 6 版/（英）普里查德著；程天汇等译.
北京：中国建筑工业出版社，2006

（国外照明设计丛书）

ISBN 7-112-08378-8

I. 照... II. ①普... ②程... III. 建筑-照明设计
IV. TU113.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 051866 号

Lighting, 6th Edition/D. C. Pritchard

Copyright © Addison Wesley Longman Limited 1969, 1999

This translation of Lighting, Sixth Edition is published by arrangement
with Pearson Education Limited

Translation Copyright © 2006 China Architecture & Building Press

本书经英国 Pearson Education Limited 出版公司正式授权我社翻译出版

责任编辑：董苏华

责任设计：郑秋菊

责任校对：张树梅 张 虹

国外照明设计丛书

照明设计（原著第六版）

[英] D·C·普里查德 著

程天汇 徐 蔚 袁 樵 张 昕 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

北京金海中达技术开发公司排版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：13 $\frac{3}{4}$ 插页：2 字数：335 千字

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月第一次印刷

定价：45.00 元

ISBN 7-112-08378-8

(15042)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：http://www.cabp.com.cn

网上书店：http://www.china-building.com.cn

致谢

作者对于以下单位和个人在再版本书过程中提供资料表示感谢：

Philips 照明有限公司提供 2.6 节、7.7 节和 7.8 节中有关图片及 11.1 节和 11.2 节中有关表格；Sylvania 照明器材有限公司提供 4.5 节有关图片；Thorn 照明有限公司提供 5.13 节、7.9 节、7.10 节、8.2—8.8 节、9.10 节和 10.14 节有关图片以及 7.3 节和 7.10 节有关表格；建筑物研究协会提供图 6.2 及表 6.1~6.8 的版权；Pilkington 玻璃器材有限公司提供表 6.10；电力学协会提供图 9.5 和图 9.6；Whitcroft 照明有限公司提供图 9.7；Hyper 照明合作股份公司提供图 A2；Thorn 照明有限公司提供插图 5；Highland 协会提供插图 6；VIEM 提供插图 7；Windsor&Maidenhead 理事会提供插图 8。

建筑服务工程许可协会提供图 1.6 和图 7.5 以及表 6.9、表 7.1、表 7.2、表 7.8，表 8.1~8.4 摘自 CIBSE（英国建筑工程服务注册协会）室内照明规范及 CIBSE 窗户设计指南。

摘录的英式标准由英国标准协会版权所有。完整版本可函洽英国标准协会消费者服务部，Chiswick High 路 389 号，伦敦 W4 4AL；电话 01819667000。

封面图片由 Paul Bock 授权拷贝。

照明污染相关指示注解摘自照明工程协会出版物。

作者感谢贝尔格莱德大学的 John Pickup 和 M. B. Kostic 博士在先前的版本中提供的建设性意见。

目 录

致谢

第一章 照明术语	1
第二章 光学单位	15
第三章 色彩	41
第四章 光源	53
第五章 灯具	81
第六章 日光	99
第七章 普通照明场景的设计	119
第八章 具体建筑类型的照明	151
第九章 能源管理及照明	159
第十章 道路照明	171
第十一章 泛光照明	189
附录 A 计算机程序	197
附录 B 法律规定	201
附录 C 典型光源的功率及其光通输出	203
参考文献	205
自测题答案	209
练习题答案	211
英汉词汇对照	213

第一章

照明术语

涉及内容

电磁辐射

电磁辐射光谱

视觉

眼睛的相对反应

辐射单位到光照单位的转换

眼睛的视觉绩效

眼睛的视觉绩效

色觉

眼睛的基本健康状况

亮度对比敏感度

目标及背景的眩光

目标的运动状况

可视目标条件

视觉偏好

人们对于照明设计的观点是不准确的。那些从未认真思考过这个问题的人只是将照明看作他们生活的一部分，在他们看来照明只不过是几个 60 瓦（W）的电灯泡和按开关而已。从某种意义上讲，他们是对的。毕竟，只有在极少数的情况下，光线才会少到眼睛不能观察。但要是让持这种观点的人代表他人来做出照明方面的决策，是相当危险的。当一个人进入照明学的领域，他/她就进入了一个既需要艺术想像力又需要工程设计能力的崭新科学领域。要想取得成功，他/她在展现可视场景方面必须具备一定的创造力。他/她还必须具备足够的计算能力，并对现有的照明工具有足够的了解。相信大家都知道，现在电气照明还极少能和日光照明相提并论。

第一个问题是“什么是光？”严格地讲，它纯粹是指一个人对声音、味道、气味和温度的感应类似的一种知觉。当有些东西刺激到我们的这种知觉，具体说就是电磁辐射刺激到我们的视网膜，我们就感觉到光。因此光可以看作是辐射以及我们对其的反应。

电磁辐射

基本的原子是由带正电的原子核及在其周围沿一定轨道运行的带负电的电子构成的，如图 1.1 所示。如果原子受到其他原子撞击或者由于加热获取能量，它就会通过电子运动将能量释放，由此产生电磁辐射。这种辐射遵循各种“法则”，延直线传播，其能量由单独的光子形式放出。光子的能量表示如下：

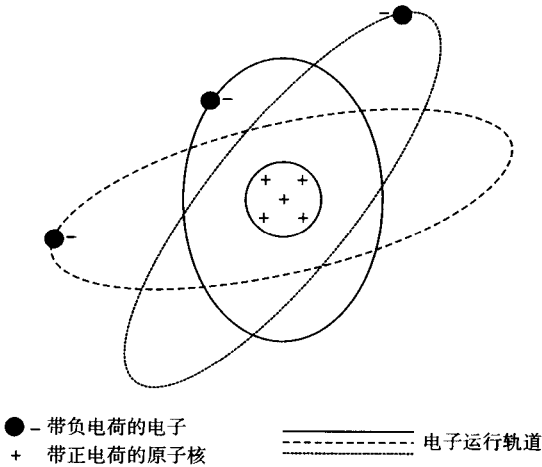


图 1.1 电子绕原子核运行图

$$eV = h\nu \quad [1.1]$$

式中： h 代表普朗克常数， eV 代表能量，通常单位是电子伏特。1 eV 能量代表把电子移动一个伏特的电势差时所作的功。

【例】

汞原子释放出能量为 4.89 eV 的光子，普朗克常量为 $6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ，计算该辐

射释放射线的波长。

【解】

该辐射的频率（单位赫兹 Hz：1 周期/每秒，缩写为 Hz），由公式可得：

$$\nu = \frac{eV}{h}$$

代入数值，统一单位。 h 用 $\text{J} \cdot \text{s}$ （焦耳·秒）表示， eV 单位要转换为 J （焦耳）表示。得：

$$1\text{eV} = 1.603 \times 10^{-19} \text{J}$$

$$\begin{aligned}\therefore \nu &= \frac{4.89 \times (1.603 \times 10^{-19})}{6.62 \times 10^{-34}} \\ &= 1.18 \times 10^{15} \text{ Hz}\end{aligned}$$

换算成波长，电磁辐射遵循以下规律：

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad [1.2]$$

式中： c 代表光子在真空中的速率（大约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）。 λ 代表辐射波长（单位： m ）。由此可得：

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{\nu} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{1.18 \times 10^{15}} \text{ m} \\ &= 254 \times 10^{-9} \text{ m} = 254 \text{ nm}\end{aligned}$$

这就是汞原子释放出的紫外短波辐射的波长。

自测题 1.1

如果在低压钠灯下产生的主要辐射射线波长为 589.6 nm ，计算该辐射的频率。

电磁辐射光谱

电子是产生不同频率及波长的辐射的来源，这些辐射除用于照明外还有许多其他用途。它将帮助我们选择用波长还是用频率来思考问题。

在式 [1.2] 中我们已经看到：

$$\text{波长} \propto \frac{1}{\text{频率}}$$

为了避免混淆，本书一律使用波长表示辐射。光谱示意图如图 1.2 所示。光谱上不同波段的名字大体表明了其能量使用的情况。在光谱图上，可见光只占据了很小的一个波段（ $400 \sim 700 \text{ nm}$ ），该波段可以被进一步划分为不同色彩波段，一如人们经验中的色彩。

光子的能量是一个有趣的问题。正如我们在式 [1.1] 中给出，光子的能量可以表示为：

$$\text{光子能量} \propto \frac{1}{\text{波长}} \quad [1.3]$$

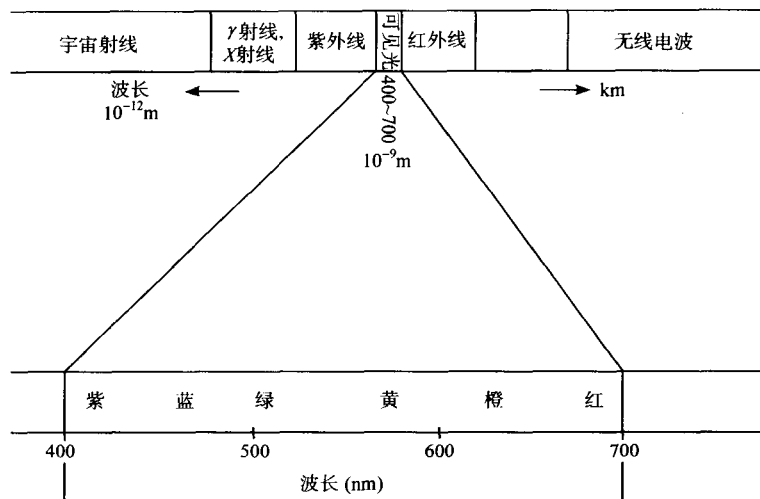


图 1.2 电磁光谱图

因此，波长越短光子能量越高。如果考虑到辐射对人体的影响，300 nm 以下的辐射将会对人体产生较大的伤害。而对于较长波长，比如毫米（mm）到米（m）这一级的波段上，其影响可以忽略，只有通过收音机或者电视机等转换器才可将此类辐射转换为信号。

视觉

眼睛是身体上一个神奇的部分。它接收大量的信号并在我们的五感中处于支配地位。

在“看见”的过程中眼睛起着两个作用。第一，眼睛就像一台精密的可变焦透镜，将景物清晰地聚焦到我们的视网膜上。人眼的构造如图 1.3 所示。请记住，在此阶段，眼睛会接收一切辐射，所以必须注意保护眼睛免受不可见辐射的伤害，即 400~700 nm 以外的波段。

第二，眼睛通过视网膜上分布的神经末梢转换信号，视觉神经就像一个复杂的电子信号转换器，将信号传递给大脑。这个转换过程的机理目前尚未完全搞清，不过通常认为这是个光化学反应过程，也就是说光子能量在视网膜上引起了化学反应。

眼睛的相对反应

视网膜上分布的神经末梢分为两种，锥状（明视觉）和杆状（暗视觉）。后者具有很高的敏感度，并且只在光线非常暗的时候起作用，不属于我们在本书中所研究的范围，所以不作进一步讨论。

锥状神经末梢对 400~700 nm 的光线产生感应，并且这种感应随着数量和质量而变化。表 1.1 给出了感应量上的变化，而对质的感应也就是色觉，见图 1.2。

表 1.1 表示人眼的灵敏度随着波长的增加相应逐渐加强，在 555 nm 处达到最高，

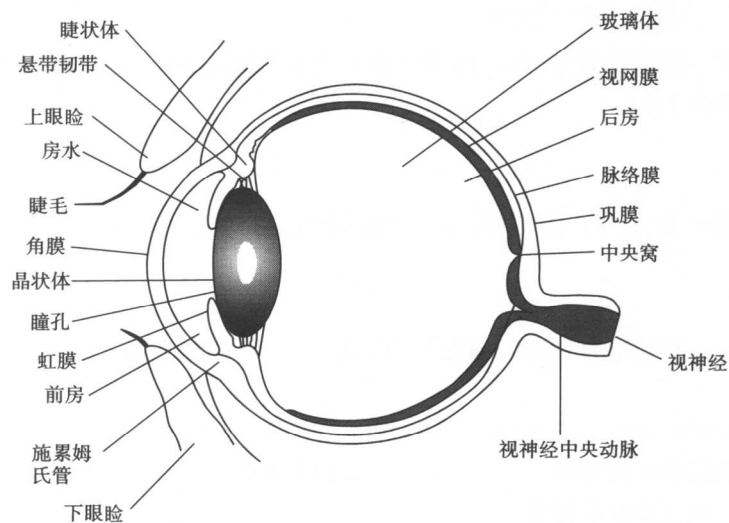


图 1.3 人眼构造图

随后又逐渐降低。将 λ 对 V_λ 作图所得曲线可以看出该变化，并且该曲线也是我们的重要参考。

明视觉相对光谱光效率曲线

表 1.1

λ (nm)	V_λ	λ (nm)	V_λ
400	0.000	550	0.994
410	0.001	560	0.995
420	0.004	570	0.952
430	0.011	580	0.870
440	0.023	590	0.757
450	0.038	600	0.631
460	0.060	610	0.503
470	0.090	620	0.381
480	0.139	630	0.265
490	0.208	640	0.175
500	0.323	650	0.107
510	0.503	660	0.061
520	0.710	670	0.032
530	0.862	680	0.0017
540	0.954	690	0.008
		700	0.004

资料来源：光学测量原理，CIE 出版社，NO. 18，1970。

辐射单位到光照单位的转换

进入眼睛的辐射用瓦特作单位来衡量。进入眼睛的辐射要经过一定的换算，因为某些波长相比其他波长效率更高。发光光通量的单位用流明 lm 来表示，光通量与流明的关系为：

$$\text{光通量} = K \int_{\lambda=\infty}^{\lambda=0} P_{\lambda} V_{\lambda} \text{lm} \, d\lambda \quad [1.4]$$

式中：常数 K ，通常取值为 675， P_{λ} 表示波长为 λ 的辐射功率， V_{λ} 表示人眼对波长 λ 的视见系数（见表 1.1）

【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_{λ} 为 60 W（如题）， V_{λ} 为 0.768（如表 1.1）

由此

$$\text{光通量} = 675 \times 60 \times 0.768 \text{ lm} = 31\,104 \text{ lm}$$

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。

【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

【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_{λ} （W）	V_{λ}	$P_{\lambda} \times V_{\lambda}$
<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			

$$\therefore \text{光通量} = 675 \times 5.03 \text{ lm} = 3395 \text{ lm}$$

灯具的效率用光效表示，光效定义为流明对灯具功率的比值。在题中，

$$\text{光效} = \frac{3395}{200} = 17.0 \text{ lm/W}$$

经过计算可以得知，虽然白炽灯属于高效率的辐射体，但是其辐射大部分集中在 700 nm 以上的红外波段，对于照明而言是无效的。因此使用白炽灯照明实际上效率很低。

自测题 1.2

一盏灯辐射能量在 400~700 nm 之间均匀分布。剩余能量（50%）损失于传导和对流。近似计算该灯的光效。

眼睛的视觉绩效

有许多因素影响我们的视觉能力，这些因素可以分为人体因素和环境因素。人体因素包括：

眼睛的视觉绩效

色觉

眼睛的健康状况

环境因素包括：

目标及背景的亮度

目标或背景的眩光

目标的运动状况

眼睛的视觉绩效

当晶状体系统正常的状态下，眼睛可以辨认 0.5 分角度或更小视角大小的细节。视角的大小就是我们所看到的范围大小，和物体大小和观察距离两个因素有关。如图 1.4 所示，用标准测试符号“Landolt 氏视力环”来表示。眼镜店测试视力时是让人辨认标准图表上的字母。一个 6 : 6 视力的人可以辨认距离 6 m 远处大小为 8.75 mm 的字母；而视力为 6 : 12 的人意味着他在 6 m 的距离上只能辨认视力为 6 : 6 的人在 12 m 处能辨认的字母，其视力是不合格的。

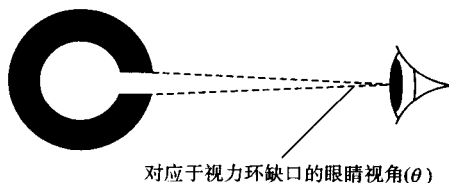


图 1.4 Landolt 氏视力环

在视觉测试实验中，人眼的辨认过程通常使用视觉敏感度来描述：

$$\text{视觉敏感度} = \frac{1}{\text{最小视角大小}} \quad (\text{单位：分}) \quad [1.5]$$

因此，要想理解照明学，首先就要明白眼睛必须正常发挥功能。

【例】

写招牌的人要树立起一个写有 BLC 字母的牌子使至少 1 km 的距离上能够辨认。假设平均视力敏感度为 2，安全因子为 2，试确定字母的最小高度，假设字母 C 的缺口为 $\frac{1}{5}$ 的高度。

【解】

视力敏感度为 2，则

$$2 = \frac{1}{\theta}$$

式中： θ 为眼睛观测的缺口角度

设缺口高度为 x 米 (m)，用弧度表示 θ ，有

$$\theta = \frac{x}{\text{距离}} = \frac{x}{1000} \text{ rad}$$

θ 以分表示，而 π 为相当于 180×60 分，由之前的式子可知， $\theta = 1/2$ 分；由此将分转换为弧度：

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{180 \times 60} \text{ rad} \\ &= 0.000145 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{x}{1000} = 0.000145 \text{ rad}$$

由此 $x = 0.145 \text{ m}$

代入安全因子 2

$$x = 0.29 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{字母高度} &= 5x \\ &= 1.45 \text{ m} \end{aligned}$$

色觉

关于色觉有许多的理论，三原色理论是目前广泛接受的一种理论。在有关色彩的章节中，我们将讨论三原色相混合的情况，使用这种方法可以获得整个光谱的色光。将该理论运用到视觉上，我们认为锥状神经末梢可分为三类，每种都接收不同波长的辐射。三种神经末梢受到的刺激相互作用并被大脑识别为色彩。人类对色彩的感觉不完全相同，但我们用波长来讨论不同的辐射，例如将 650 nm 波长的光波识别为“红色”。这种

独特的识别系统也可以用于解释为什么人们对颜色的品味千差万别。

尽管在人类的日常生活中，色彩总是存在的，而照明单位以及照明设计技术中我们却不能将色彩的因素都考虑进去，但是这并不意味着色彩是不重要的。

对于色彩的理解是我们讨论视觉时的基础，因为某些颜色比别的颜色具有更高的可视性，并且颜色之间的对比也是非常重要的。蓝色与黄色对比十分强烈，这类颜色我们称为“互补”，但是蓝色与绿色的对比则不是那么强烈，因为它们的波长比较接近。

眼睛的基本健康状况

随着年龄的增长视觉也随之恶化。出生的时候我们拥有正常的视力，而到 40 岁的时候就可能要戴眼镜了。这主要是由于晶状体肌肉的衰老使得我们在短距离上聚焦变得困难。这种情况可以通过配戴眼镜来部分矫正。这种症状称为“老花眼”。而有许多更严重的问题存在，包括白内障，这是由于在晶状体上覆盖了云斑所致。这些情况削弱了清晰视觉，同时分散了进入眼睛的光线，使得患病者对于眩光的敏感性增加。

在照明设计中考虑周全这些病症是很困难的，不过正如我们所知的，在平均年龄较高的场所——例如老年人的家里——我们必须更多的考虑照明量以及避免眩光。

亮度对比敏感度

一个物体能被看见，是因为它与周围背景的亮度是不同的。举个例子，一个白色的字母放在黑色的背景下很容易被看见，而在白色的背景中则几乎看不见。这个道理是显而易见的，而在可视过程中则不是都那么显而易见，因此我们必须努力获取更高的对比度。而带有色墨镜的人可能不这么想，因为他们故意削弱了他们能看见的所有物体的亮度。

有两点因素需要考虑：

1. 目标与其周围背景之间的对比，例如字母与书本的纸张；
2. 背景的整体亮度，例如放置书本的桌子，或者说当我们阅读时周围能见的一切事物。

讨论数学关系时，需要使用客观的物理量。比如说，明亮程度是我们描述事物的主观概念，而亮度（辉度）则是反映明亮程度的物理量。亮度的单位是坎德拉每平方米(cd/m^2)

$$\text{对比度} = \frac{L_T - L_B}{L_B} \quad [1.6]$$

式中： L_T 为目标的亮度， L_B 为周围背景的亮度。

【例】

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

【解】

在光照相同的情况下，亮度同反射率成正比，由式 [1.6]

$$\begin{aligned}\text{对比度} &= \frac{(0.5-0.3)}{0.3} \\ &= 0.66\end{aligned}$$

对比敏感度是个更难解释的概念，它是指识别目标的对比度的能力，也是对比度识别能力（CRFs）中的基本因素。我们来讨论对比度的阈值——也就是对比度刚刚到能够看见——其亮度的差值可以记为 ΔL 。也可以将其表示为对平均亮度的比值。图 1.5 表示了对比度阈值和视场中整体亮度之间的实验值关系。曲线表明随着整体亮度的增强敏感度也随之增强。图中没有画出的部分表明，随着亮度进一步增强，产生的眩光对对比敏感度有削弱的作用。

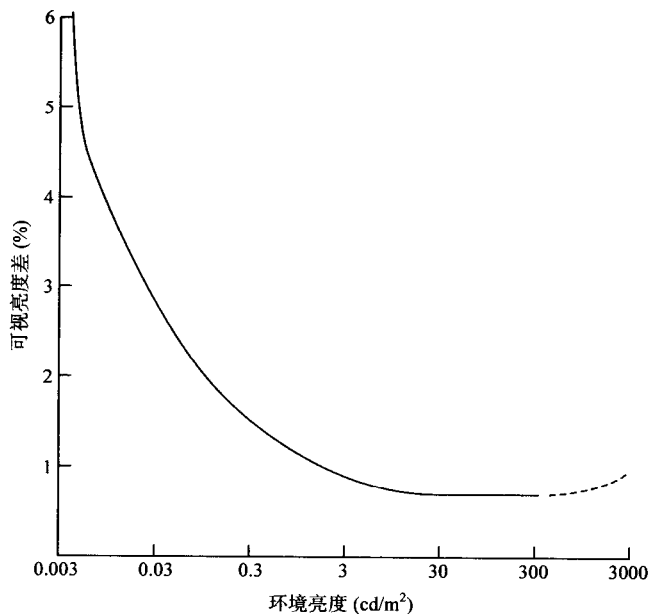


图 1.5 对比敏感度与环境亮度之间的关系

【例】

提高照明水平，使得背景的亮度由 10 cd/m^2 增强至 100 cd/m^2 。由对比度表示的对比敏感度的变化是多少？

【解】

由式 [1.6]，考虑阈值，由图 1.5 可知：

在 10 cd/m^2 时其对比度为 0.75% ——条件 1

在 100 cd/m^2 时其对比度为 1.0% ——条件 2

这表示在具体的照明水平下能看见的最小对比度。

将式 [1.6] 代入条件 1

$$L_B = 10 \text{ cd/m}^2$$

最小可感知对比度差为 $\Delta (L_T - L_B)$ ，有

$$\frac{\Delta (L_T - L_B)}{L_B} = \frac{0.75}{100}$$

$$\begin{aligned}\therefore \Delta (L_T - L_B) &= 10 \times \frac{0.75}{100} \\ &= 0.075 \text{ cd/m}^2\end{aligned}$$

将式 [1.6] 代入条件 2

$$L_B = 100 \text{ cd/m}^2$$

$$\frac{\Delta (L_T - L_B)}{L_B} = \frac{1.0}{100}$$

$$\begin{aligned}\therefore \Delta (L_T - L_B) &= \frac{100 \times 1.0}{100} \\ &= 1.0 \text{ cd/m}^2\end{aligned}$$

该结果表明，随着照明强度的增加，最小可感知亮度差也随之增加。结果表明照明水平均匀地增加意义是不大的。如果背景亮度增加，而工作面没有——例如在一个白色的平面上工作而不是灰色平面——最小可感知亮度差会由 0.75 cd/m^2 增加至 1.0 cd/m^2 ，也就意味着视觉绩效的降低。这也是 H. C. Weston、H. R. Blackwell、P. Boyce 以及其他研究者在相关研究工作中的观点。这说明了优秀的照明不仅仅只是提供足够量的光线。同时说明“显示能力”是由光照方向、被照表面性质以及环境整体照明决定的。

目标及背景的眩光

眩光是对比度进一步发展的结果。正常情况下眼睛会适应所见景物，如果目标或者背景太亮，或对比太强烈，视力将会受影响，可能引起人的不适（不舒适眩光），甚至让目标难以看清（失能眩光），或者二者兼有。不幸的是我们周围到处都是眩光，并且比照明不足更加影响我们的视觉。

通常不舒适眩光都来自室内室外的电器照明设施。第七章里我们将讲述如何在室内照明设计中控制这种类型的眩光。

失能眩光可能直接来自光源、窗户或者光滑表面的反光（光幕眩光）。这些问题常见于现代化的办公室中，因为办公室里有很多的电脑显示屏。如果存在光幕眩光的话，那么设计时就要考虑前面提到过的一个要素——对比度识别能力（CRF）。

自测题 1.3

描述下列眩光的主要类型：

摩托车车头灯

汽车的脏挡风玻璃

交通主干道路灯

目标的运动状况

看见东西并不是一个静态的过程。眼睛不断地扫描我们的视野。每分钟我们大约眨

眼 15 次，视网膜自动反应以适应整体亮度水平。晶状体改变形状以调节焦距，虹膜扩张收缩以控制进入眼睛的光线总量。

光源在数量以及质量上经常是变化的，无论是自然光还是人工光。比如说电气照明，每秒钟大约会有 100 次的闪烁。因此即便是在相对静止的环境中，例如坐在椅子上看书，仍然有相当多的因素处于运动和变化中。

通常对照明进行评估时，我们总是假定目标是固定不动的，并且有足够的时间对其聚焦。当目标运动起来，例如传送带机组，则需要提供额外的照明。

可视目标条件

良好的照明包括以下两个目标：

1. 有效地显示出工作面；
2. 基本显示出周围环境。

为了达到第一个目的涉及我们讨论过的一些因素，图 1.6（摘自 CIBSE，照明规范 1984）表示了这些因素之间的相互关系。该图表详细地展现了视觉绩效与照明水平在三个具体对比度（ C ）以及视角大小（ S ）下的关系。视觉绩效的好坏是相对的，如果目标非常小，并且对比度很弱，则看上去总是需要改进。如果目标很大而对对比度良好，即便在月光下我们也能看得很清楚。这一点是引用照明水平规范标准的基础。

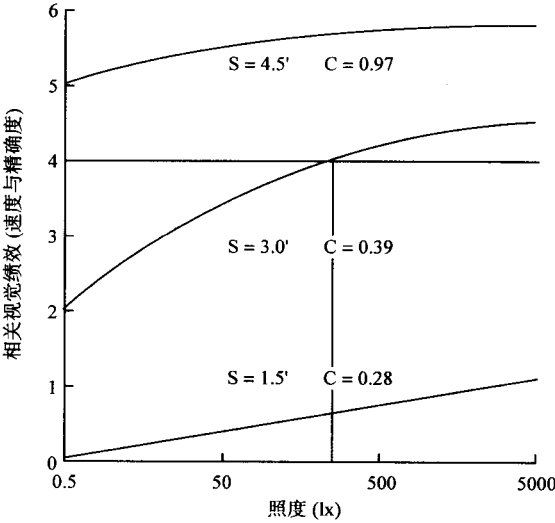


图 1.6 不同目标尺寸及对比度下的照度与视觉绩效关系图

【例】

我们需要在 0.5 m 的距离上看清 0.5 mm 的物体细节。目标的反射率为 0.3，邻近背景反射率为 0.2。请问在何种照明水平下能保证 4 的视觉绩效？