

# 灯与照明

上册

轻工业出版社

## 内 容 提 要

英国 S. T. 赫德逊和 A. M. 马斯登主编、1972 年出版的《灯与照明》，全书共分：基础理论知识、灯、灯具和点灯线路，以及照明四个部分。

全书分上下两册翻译出版，本上册包括原书的前二部分，主要介绍光源、照明的基本原理，各种类型灯的原理、构造、生产工艺和使用要求。可供从事光源生产和照明工作的技术人员和工人参考。

S. T. Henderson and A. M. Marsden  
Lamps and Lighting  
(Thorn Lighting Ltd. 1972)

## 灯 与 照 明 (上 册)

【英】S. T. 赫德逊、A. M. 马斯登 主编  
全国灯泡工业科技情报站 译

\*  
轻工业出版社出版  
(北京阜成路3号)

北京印刷一厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

\*  
787×1092 毫米 1/32 印张：13 $\frac{2}{32}$  插页1 字数：293千字

1976年9月第一版第一次印刷

印数：1~36,450 定价：1.04 元

统一书号：15042·1398

(限国内发行)

## 译者的话

无产阶级文化大革命以来，在我国社会主义革命和建设迅速发展的大好形势下，光源和照明工业也取得了很大进展。在“独立自主、自力更生”的方针鼓舞下，广大工人、干部和技术人员为革命“造灯”、“用灯”的积极性空前高涨，对有关技术参考书籍的需要也更加迫切。遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们组织力量翻译了这本书，供大家参考。

《灯与照明》是有关光源和照明方面的手册性质的书。在翻译过程中，我们对一些不适合我国需要的内容，作了删节。译本分上下两册。

原书的度量单位，主要采用的国际单位制，但也用了些习用的旧单位，如电子伏特和毫(真空单位)等。

本书译出后，请北京、上海有关院校和科研、设计单位的同志进行了审校。但由于我们的政治思想和业务技术水平有限，在翻译上难免有不妥或错误的地方，请读者批评指正。

全国灯泡工业科技情报站

# 目 录

## 第 一 篇

|               |     |
|---------------|-----|
| 第一章 光         | 1   |
| 第一节 电磁辐射和光    | 1   |
| 第二节 光的传播      | 4   |
| 第三节 辐射的测量     | 12  |
| 第四节 照明的概念与单位  | 16  |
| 第二章 视觉        | 29  |
| 第一节 视觉系统及其作用  | 29  |
| 第二节 视觉的特性     | 36  |
| 第三节 视觉功能      | 48  |
| 第三章 颜色        | 60  |
| 第一节 颜色的性质     | 60  |
| 第二节 三色色度学     | 67  |
| 第三节 表面颜色      | 81  |
| 第四节 颜色显现      | 85  |
| 第四章 光度学与色度学   | 92  |
| 第一节 设备和标准     | 92  |
| 第二节 光度学       | 99  |
| 第三节 色度学和辐射度学  | 111 |
| 第五章 照明数据和计算   | 119 |
| 第一节 数据的引用     | 119 |
| 第二节 光通量和光强的关系 | 124 |

|     |            |     |
|-----|------------|-----|
| 第三节 | 照度计算       | 129 |
| 第四节 | 光通量传递与相互反射 | 141 |
| 第六章 | 辐射的产生和应用   | 148 |
| 第一节 | 辐射的产生      | 148 |
| 第二节 | 辐射的特性及其应用  | 170 |
| 第三节 | 相干辐射       | 176 |

## 第二篇 灯

|     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 第七章 | 灯用材料         | 179 |
| 第一节 | 玻璃与陶瓷        | 180 |
| 第二节 | 金属材料         | 189 |
| 第三节 | 气体与蒸气        | 198 |
| 第八章 | 荧光粉          | 204 |
| 第一节 | 激发的方式        | 204 |
| 第二节 | 固体发光材料       | 207 |
| 第三节 | 荧光灯用荧光粉      | 213 |
| 第四节 | 汞灯荧光粉        | 221 |
| 第五节 | 电视用荧光粉       | 223 |
| 第六节 | 荧光粉的制备       | 225 |
| 第九章 | 白炽灯          | 228 |
| 第一节 | 普通照明用灯(简称普灯) | 228 |
| 第二节 | 装饰灯和特种灯      | 232 |
| 第三节 | 汽车灯与小型灯      | 237 |
| 第四节 | 工作特性         | 245 |
| 第五节 | 制造方法         | 246 |
| 第十章 | 卤钨灯          | 254 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第一节  | 再生循环·····             | 254 |
| 第二节  | 设计与制造·····            | 257 |
| 第三节  | 应用·····               | 262 |
| 第十一章 | 照相闪光灯·····            | 268 |
| 第一节  | 构造和工作·····            | 268 |
| 第二节  | 闪光灯的类型·····           | 272 |
| 第三节  | 闪光电路·····             | 276 |
| 第四节  | 闪光盒·····              | 278 |
| 第十二章 | 荧光灯·····              | 282 |
| 第一节  | 荧光灯的设计·····           | 282 |
| 第二节  | 制造、质量控制与检验·····       | 287 |
| 第三节  | 灯的性能·····             | 291 |
| 第四节  | 特种类型的荧光灯·····         | 301 |
| 第十三章 | 钠灯·····               | 308 |
| 第一节  | 低压钠灯·····             | 308 |
| 第二节  | 高压钠灯·····             | 319 |
| 第十四章 | 汞灯·····               | 328 |
| 第一节  | 工作原理·····             | 328 |
| 第二节  | 高压汞灯的制造与结构·····       | 332 |
| 第三节  | 高压汞灯(MB 型)的设计与性能····· | 338 |
| 第四节  | 超高压汞灯·····            | 348 |
| 第十五章 | 金属卤化物灯、氙灯与氪灯·····     | 356 |
| 第一节  | 金属卤化物灯·····           | 356 |
| 第二节  | 氙灯·····               | 365 |
| 第三节  | 氙气闪光管·····            | 372 |
| 第四节  | 脉冲氙灯·····             | 379 |
| 第五节  | 氪灯·····               | 381 |

|             |                     |            |
|-------------|---------------------|------------|
| <b>第十六章</b> | <b>场致发光器件</b> ..... | <b>383</b> |
| 第一节         | 结构.....             | 383        |
| 第二节         | 特性与应用.....          | 388        |
| 第三节         | 图象存储器.....          | 392        |
| <b>第十七章</b> | <b>半导体灯</b> .....   | <b>396</b> |
| 第一节         | 半导体理论.....          | 396        |
| 第二节         | 半导体灯的设计与制造.....     | 402        |
| 第三节         | 性能与应用.....          | 405        |

# 第一篇

## 第一章 光

由于光的刺激而引起的视觉，是正常人借以了解外界情况的主要渠道，因此适当的照明对于日常生活极为重要。本书主要介绍照明光源的生产和应用方面的现代技术。人的主观视觉形成了亮度和色彩等概念，这些概念虽可用来对不同光源或照明进行定性比较，但单凭这些尚不能满足技术上的要求。因此有必要采用一些以光的客观物理性能为基础，并可用仪器计量的概念。第一章的前两节讨论光的性质及其与空间、能量和物质的关系；后两节介绍以后章节中定量讨论实际照明情况时所用的一些基本概念和术语。

### 第一节 电磁辐射和光

光是能量的一种形式，这种能量可从一个物体传播到另一个物体而无需任何中间介质。这种能量的传播即称为辐射。辐射的意思是指能量从能源按直线向所有方向传播，但实际上当其通过物质时，并不总是按直线传播的。已经知道有些形式的辐射系由粒子组成，例如放射性物质所发出的辐射。光曾一度被认为是粒子流，但后来经实验证明，光的性质还是以波动来解释更为恰当，而光的方向就是波的传播方

向。在不到一百年以前，就已证明光波本质上是电磁波，而不是象镭放射的  $\alpha$  粒子，或象电子那样属于物质。之后，又搞清楚了光波在电磁波的极其宽广的波长范围中仅占极小部分(图 1-1)。电磁波谱的长波一端是无线电通讯用的电磁波，其波长范围从几十公里到几个毫米；另一端是 X-射线和  $\gamma$ -射线(伽马射线)，伽马射线是在核反应时放射的，它的波长甚至比原子还小。电磁波谱的可见部分，其波长约在 380 到 760 毫微米之间(即 0.00038 到 0.00076 毫米之间)，在这个范围内的各种波长，可凭眼睛的颜色感觉加以区别。蓝色和紫色相当于短波，红色相当于长波，黄色和绿色是可见波长范围的中间部分。

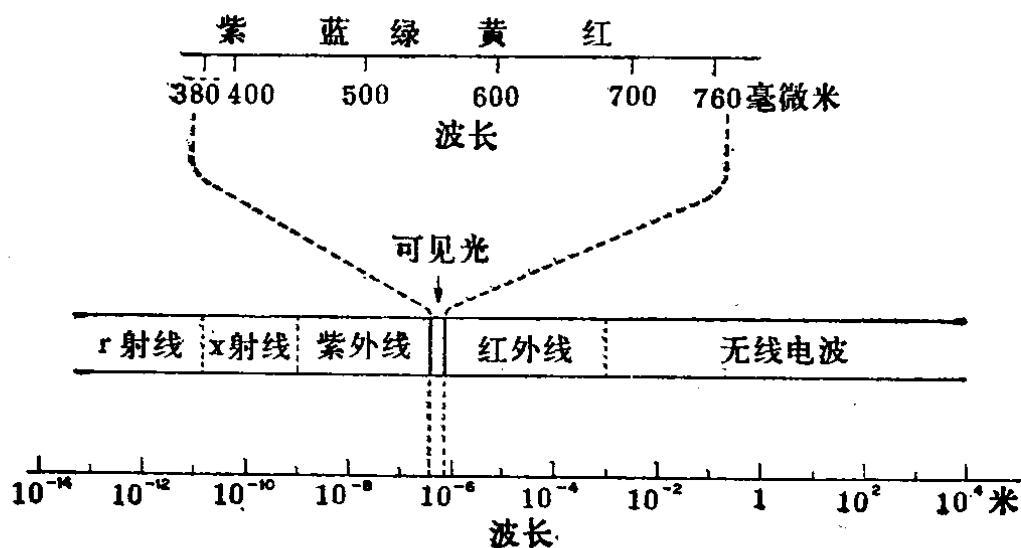


图 1-1 电磁波谱

### 一、眼睛的视觉灵敏度曲线

人的眼睛在可见光谱区域内的灵敏度是不一致的，而是如图 1-2 那样随波长而改变。当眼睛已适应于中、高照度时，其最大灵敏度是在 555 毫微米处的黄绿色范围内。可见光谱

位于到达地球表面的太阳辐射光谱的中间部分。太阳辐射中，波长小于 290 毫微米的被较高大气层中的臭氧吸收；波长大于 1400 毫微米的被较低大气层中的水蒸气和二氧化碳强烈吸收。因此可得出这样的结论：虽然眼睛灵敏度曲线和昼光光谱功率分布曲线的最大值并不一致，但眼睛的灵敏度曲线还是人类在进化过程中对地球大气层透光性适应的结果。

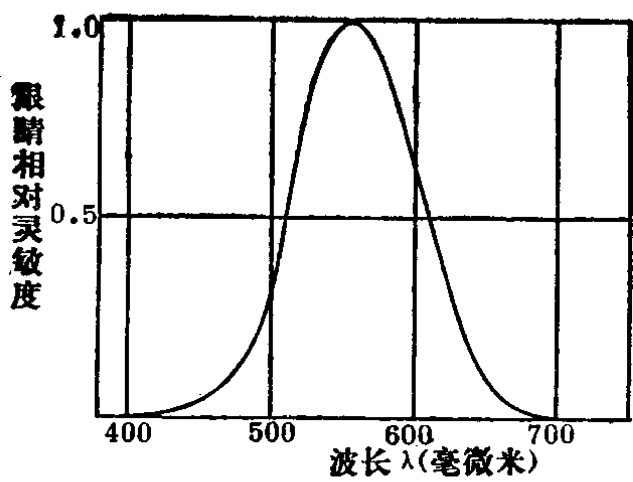


图 1-2 眼睛的昼光灵敏度与波长的关系：  $V(\lambda)$

二、紫外和红外辐射

波长超出可见光谱的紫色和红色两端的电磁辐射，分别称为紫外辐射和红外辐射。紫外线的短波范围一直延伸到 1 毫微米，更短的就是 X 射线；红外线波长范围一直延伸到 1 毫米（人为规定的界限），更长即属于无线电波的领域。紫外线和红外线虽然都是眼睛感觉不到的，但却能从生理上感觉到，如果强度够高，会使皮肤感到发热。这种现象有力地说明了所有的辐射被吸收后都能产生热，而并不是一般认为的只有红外线才有特殊的发热效果。此外，波长小于 320 毫

微米的紫外辐射对生物的活组织有害，如皮肤被紫外线照射后，在一定时间内会发红和起泡。

## 第二节 光的传播

光和所有的电磁辐射均以大约每秒三十万公里的速度在真空中作直线传播。当光通过某一种媒质时（如空气或玻璃），其传播速度比在真空中的低，这两种速度的比值称为该媒质的折射率。任何类型的波，其传播速度均等于波长 $\lambda$ 与频率 $\nu$ 的乘积

$$V = \nu\lambda \quad (1.1)$$

式中的频率( $\nu$ )是每秒钟内通过一个固定点的波的数目。例如：波长为400毫微米的紫色光，它在真空中的频率为 $7.5 \times 10^{14}$ 赫；而波长为750毫微米的红光，在真空中的频率为 $4 \times 10^{14}$ 赫。当光波从一种媒质进入另一种媒质时，频率并不改变，但速度的任何变化均会引起波长成比例的改变，因为按1.1式， $V/\lambda$ 应当是常数。当提及光的波长，而未说明媒质时，通常是指光在空气中的波长。光在空气中的波长仅比在真空中的稍短一点，因为空气的折射率接近于1。

在折射率不同的两种媒质的界面上，入射光分成两部分，其中一部分反射回第一媒质；另一部分折射入第二媒质，如图1-3中的光线图所示。确定反射和折射光方向的定律可从光的波动理论推导出来，其结果如下所述。

### 一、镜面反射定律

光滑（指与入射光波长比较而言）界面上产生的反射称为镜面反射。一条入射光线产生一条反射光线，它们之间有如下关系：

(1) 入射光线，反射光线，以及通过入射点垂直于界面的法线均在同一平面上；

(2) 入射光线与反射光线在法线的两边与法线成相等的角度。

反射光与入射光的能量比，除受其他因素影响之外，主要取决于两种媒质折射率的比值和光线的入射角（即入射光与界面的法线间的角度）。当入射角接近于  $90^\circ$  时，反射光的能量比接近于 100%。

## 二、折射定律

经过光滑界面进入第二媒质的光线，按下述定律改变方向：

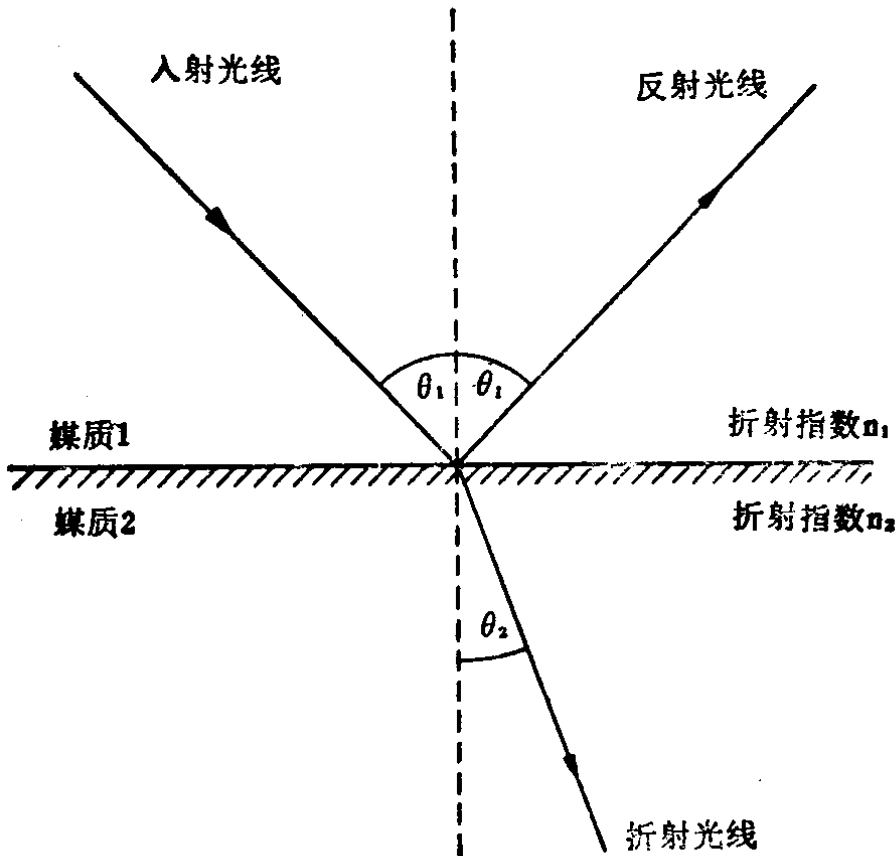


图 1-3 媒质界面处的反射与折射

(1) 入射光线，折射光线，以及通过入射点垂直于界面的法线均在同一平面内；

(2) 如果入射光线在折射率为  $n_1$  的媒质中并与界面的法线成  $\theta_1$  角，折射光线在折射率为  $n_2$  的媒质中与界面的法线成  $\theta_2$  角，则

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.2)$$

式中的  $\theta_1$  和  $\theta_2$  在法线的两边（图 1-3）。

上述折射定律可用于大多数常用材料，如玻璃、透明塑料以及液体等。对于某些晶体和受应力的透明固体，折射定律不适用。这里不拟讨论在这些情况下产生的复杂效应。

### 三、全反射

当光线从折射率高的媒质进入折射率低的媒质（如从玻璃进入空气），折射光线仅在入射角  $\theta_1$  小于某一临界值时才会存在。如果  $\theta_1$  超过这一临界角，折射公式（1.2 式）的  $\sin \theta_2$  的值就要大于 1，而实数  $\theta_2$  不能满足这一条件。事实上在这种情况下没有折射光线存在，而所有的入射光能量均出现在反射光中。这种情况称之为全反射。如折射率为 1.5 的玻璃，在玻璃到空气的界面上产生全反射的临界角可用折射公式求得，其中的  $n_1=1.5$ ， $n_2=1$ ， $\sin \theta=1$ ，得出的临界角  $\theta_1=41^\circ 49'$ 。

利用全反射可以获得不损失光的反射表面，这已应用于棱镜式双筒望远镜、反射信号牌和某些灯具中，也可用于纤维光学设备中。在纤维光学设备中，光是沿着玻璃棒或玻璃纤维传递的，这时光的传递路程可以是弯曲的。

#### 四、色散

折射率与光波的频率有关，这种效应称为色散。普通材料的折射率是随频率而增加的，因此对紫色光的折射率比对红色光的大。色散效应对于研究颜色的工作十分重要（见第三章），在光学仪器的设计中也很重要，不过对灯具设计的影响一般不大，无需予以考虑。

#### 五、吸收和散射

光线在完全真空中通过时，虽然能量在前进过程中可能逐渐分散，但总能量并不会受到损失。光线在通过物质媒介的过程中，其能量一般会因吸收和散射效应而遭受损失。

吸收是由光被转变成其他形式的能量而引起的，一般系转变成热能，但也能转变成另一种波长的辐射，例如荧光；或者被转变成电能，如光电池；也可以转变为化学能，如植物的光合作用。如果媒质是均匀的，则一定波长的平行光束在穿过这种媒质时的光强损失服从下列形式的指数衰减曲线：

$$i = i_0 \exp(-\alpha x)^* \quad (1.3)$$

式中  $i_0$  是光束的初始光强； $i$  为光束在媒质中走过一定距离  $x$  后的强度； $\alpha$  是通常与波长有关的线吸收率 (Linear absorption coefficient)。高度透明材料的  $\alpha$  非常小，因此除非距离  $x$  很大， $i$  是不会比  $i_0$  小很多的。在许多材料中，对于所有波长的  $\alpha$  值都很大，甚至大到在很短的距离中  $i$  实际上变为零。这种材料除非是薄膜，一般是不透明的（例如金属）。有些材料对可见光谱中的不同波长，其吸收系数  $\alpha$  有显著的

---

\*  $i = i_0 \exp(-\alpha x)$  即  $i = i_0 e^{-\alpha x}$ ——译注

差别，光线通过这些材料时，其光谱功率分布会改变，这些材料构成滤色片的基础。

在特殊条件下，可以使媒质的吸收率成为负值，即光线从媒质中经过时能增加其强度。这就是激光器的原理，激光器能产生光强极大的光束，加强光束的额外能量必须以适当的能源供给媒质（见第六章第三节一）。

散射发生在不均匀的媒质中，这是由于在媒质中的许多方向杂乱的界面上多次反射和折射而引起的。云和雾就是空气中存在悬浮水滴而引起散射的例子。进入散射媒质的光，大部分会被散射回来，而不受到很大的吸收损失。如密致的和几乎透明的纤维组成的白纸或白布表面就是这样的例子。当光线被象黑烟中炭粒子那样的散射表面所强烈吸收时，只有极少一部分光会从这种媒质中散射出来，因此这种媒质看起来是黑色的。如果散射粒子在可见光区域内有选择地吸收一部分波长的光，则媒质就显出某种颜色来。例如在油漆中，当白光进入漆层和在从漆层中反射出来的途径中，由于悬浮在透明漆中的色素粒子吸收了白光中的某些波长的光，因而使油漆显出颜色来。由于衍射光的影响，散射也可能呈波长选择性，这样也能使媒质呈现某种颜色。由于物质分子结构上的原因，所有的媒质都在一定程度上对光线起散射作用。极小的粒子（如分子）引起的散射，对短波光线比较强，天空之所以呈现蓝色，就是用这个现象来解释的（见下册第廿三章第一节）。

## 六、漫反射与漫透射，余弦定律

当光线遇到的某种表面，其不平整的程度与光的波长差不多或稍大于光的波长时，就不再存在单一的反射光线或折

射光线，而是光的能量从入射点向所有方向散开，正如散射的情况一样。回到入射光所在媒质中的光称为漫反射光，透射入第二媒质中的光称为漫透射光。一般地说，反射光和透射光的精确角度分布决定于光线对表面的入射角以及表面粗糙的性质。颗粒极细的表面，当入射角接近  $90^\circ$  时，反射几乎是镜面反射。

为了计算方便，常用均匀漫射体这个概念。所谓均匀漫射体，就是指它的反射光分布与光的入射角无关，而在与表面法线成  $\theta$  角的方向上，反射光的强度与  $\cos \theta$  成正比。这个余弦定律也适用于均匀漫透射。然而却没有一种实际存在的表面能完全符合均匀漫射体的条件，不过有些表面，如氧化镁粉涂层表面很接近于均匀漫射体。

## 七、偏振

要理解光的偏振，需先对电磁波有一个适当的形象概念。要做到这一点，可研究振动电荷是怎样产生电磁波的。一个静止的电荷，在其周围有电场，此电场可想象成从电荷向所有方向沿直线辐射出来的力线。如果该电荷突然移动一个短距离，而力线在此时仍与电荷保持连接，因而此位移将以光速顺着力线传播出来。振动电荷就以这种方式产生沿着力线传播的波，很象在拉紧的绳子上的波动。和这些波同时存在的还有磁场，不过，这些磁场的形式无需在此处研究。上述电磁波的形象很能说明此种波的电矢分量处于由传播方向与电荷振动方向所确定的平面内。所有电矢分量都在同一振动平面内的光，称为线偏振光。振动平面与某一特定方向（例如垂直方向）之间的夹角称为偏振角。多数光源发射的光是非偏振光，这种光波的电矢分量没有一定的方向。线偏振

光可以由非偏振光通过偏振滤光片而产生，例如适当的晶体或晶体阵（偏振片）能够选出光波中在一个平面内的电矢分量。

线偏振光有一个特别有意义的性质：即从象玻璃一类的镜面媒质表面反射出来的光，其光强取决于光的振动平面与入射平面间的夹角，所谓入射平面就是由入射光线与表面法线所决定的平面。当光的振动平面与入射平面重合，而光的入射角又恰好使折射光线与反射光线成直角时，反射光的强度等于零，也就是没有反射。这个入射角称为布鲁斯特角。布鲁斯特角的数值可由反射和折射定律求得，它等于  $\tan^{-1}(n_2/n_1)$ ，当光从空气进入玻璃( $n=1.5$ )时，布鲁斯特角为  $56^\circ 19'$ 。当非偏光以布鲁斯特角入射时，反射光在与入射平面成直角的平面内线偏振。在计算经两次或更多次镜面反射的光的强度时，必须考虑偏振，因而计算过程相当复杂。

镜面反射时的偏振效应，可以用来减少眩光和改善被照景物的对比。如果入射光是在垂直平面内偏振，则象磨光桌面和有光泽纸面那样的水平表面上所产生的镜面反射就会减少。灯具的设计也可利用这种效应，有一种灯具的设计是在光源下安置一些平行反射的平面，使在（或接近）布鲁斯特角透射的光缺少水平面内偏振的分量（见下册第二十二章第三节）。

在受有应力的固体和某些晶体中，已发现折射率与光相对于应力方向、或晶体中一个轴线方向的偏振角度有关。这一点已应用于晶体分析和测量透明材料中的应力。

## 八、干涉与衍射

光的波动性质在普通照明中不产生任何明显的效果，但