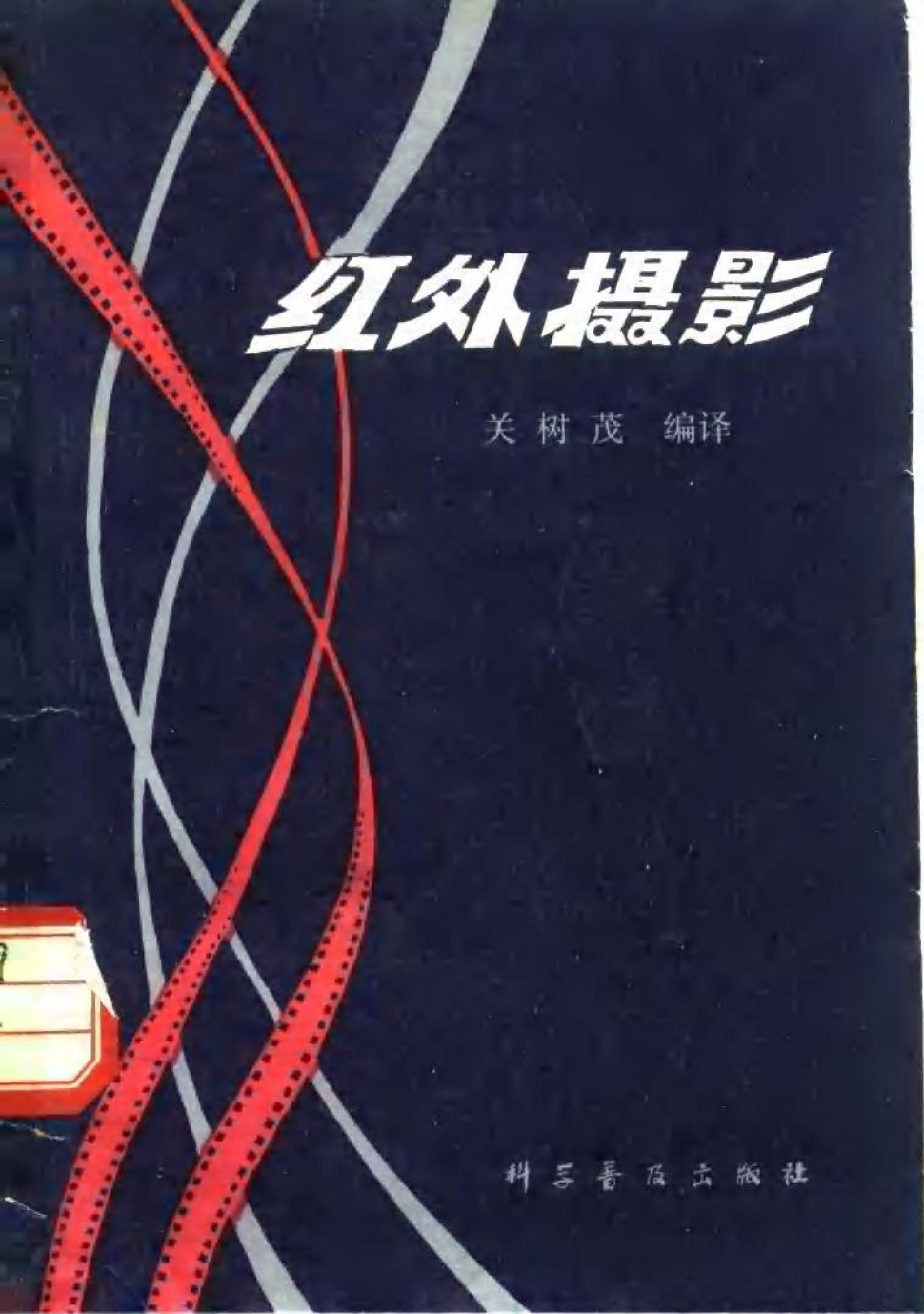


The book cover features a dark blue background. A red film strip with black sprocket holes is shown in a dynamic, overlapping fashion on the left side. A portion of a camera lens is visible at the bottom left corner. The title '红外摄影' is printed in large, bold, white characters.

# 红外摄影

关树茂 编译

科学普及出版社

# 红 外 摄 影

关 树 茂 编 译

科 学 普 及 出 版 社

## 内 容 提 要

红外摄影是红外技术在成像方面的应用,也是摄影学的一个分支。它奇妙地向人们揭示出眼睛看不见的影物和区分难以辨别的形体。因此,它在天文、遥感、农林、医学、考古和艺术等部门得到广泛应用,尤其对军事侦察和公安破案更具有重要意义。本书是一本编译的科普读物。从红外线的性质开始,谈到红外照相原理、红外感光材料的组成及其各组分的作用;书中对红外摄影所用照相机和红外感光材料及其洗印方法也有介绍;另外,本书还以较多篇幅向读者展示了红外摄影的应用知识。可供上述各行业的工作者和摄影爱好者参考。

## 红 外 摄 影

关 树 茂 编 译

\*

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防科委印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 3 1/2 字数: 71千字

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

印数: 1—8,700册 定价: 0.32元

统一书号: 13051·1112 本社书号: 0129

# 前 言

红外摄影是红外技术在成像方面的应用，也是摄影学的一个分支。它奇妙地向人们揭示出眼睛看不见的景物和区分难以辨别的形体，例如宇宙中不发光的星体，丛林中的伪装物，凶手衣物上的血迹，煤炭中的化石等。因此，它在天文、遥感、农林、医学、考古和艺术等部门得到广泛的应用，尤其对军事侦察和公安破案更具有重要的意义。

这本小册子是以阿·纽伦堡所著的《红外摄影》和巩·瓦哥内尔写的同名著作为基础，参考国外新近发表的有关文献编译的。在审校中呈蒙感光化学研究所研究员任新民同志和中国科学院尚惠春同志热诚帮助，在此表示感谢。

编译者的红外摄影理论知识浅薄，又缺乏实践经验，谬误之处可能不少，望读者批评指正。

**编译者**

一九七九年九月九日于天津

# 目 录

## 一、红外线及其特性

|              |       |
|--------------|-------|
| 光的本质·····    | ( 1 ) |
| 可见光·····     | ( 2 ) |
| 红外线·····     | ( 5 ) |
| 红外线的特性·····  | ( 6 ) |
| 红外辐射的效应····· | ( 8 ) |
| 红外线源·····    | ( 9 ) |

## 二、红外感光材料

|                |        |
|----------------|--------|
| 红外感光材料的结构····· | ( 11 ) |
| 红外感光乳剂·····    | ( 13 ) |
| 光谱增感作用·····    | ( 16 ) |
| 超增感作用·····     | ( 23 ) |
| 过增感作用·····     | ( 23 ) |

## 三、照相机及其使用

|          |        |
|----------|--------|
| 照相机····· | ( 26 ) |
| 物镜·····  | ( 29 ) |
| 滤色镜····· | ( 31 ) |
| 调焦·····  | ( 34 ) |
| 曝光·····  | ( 36 ) |

## 四、红外感光材料的冲洗

|           |        |
|-----------|--------|
| 暗室照明····· | ( 40 ) |
| 显影·····   | ( 41 ) |
| 明灯显影····· | ( 45 ) |
| 停显·····   | ( 46 ) |
| 定影·····   | ( 47 ) |

|                  |        |
|------------------|--------|
| 水洗.....          | ( 48 ) |
| 干燥.....          | ( 48 ) |
| 彩色红外感光材料的冲洗..... | ( 48 ) |

## 五、红外摄影的应用

|                 |         |
|-----------------|---------|
| 风景摄影.....       | ( 53 )  |
| 雾天摄影.....       | ( 59 )  |
| 远景摄影.....       | ( 62 )  |
| 航空摄影.....       | ( 65 )  |
| 航天摄影.....       | ( 68 )  |
| 黑暗中摄影.....      | ( 72 )  |
| 刑法摄影.....       | ( 75 )  |
| 对古字画的鉴别和复制..... | ( 77 )  |
| 织品检验.....       | ( 80 )  |
| 肖像摄影.....       | ( 82 )  |
| 医学摄影.....       | ( 84 )  |
| 照相计温学.....      | ( 90 )  |
| 显微摄影.....       | ( 92 )  |
| 植物摄影和森林勘查.....  | ( 94 )  |
| 在环境保护中的应用.....  | ( 95 )  |
| 在考古学中的应用.....   | ( 96 )  |
| 古化石摄影.....      | ( 96 )  |
| 天文摄影.....       | ( 99 )  |
| 在气象学中的应用.....   | ( 100 ) |
| 光谱摄影.....       | ( 103 ) |
| 蒸发摄影.....       | ( 104 ) |
| 磷光摄影.....       | ( 105 ) |

# 一、红外线及其特性

## 光 的 本 质

红外摄影同其它摄影术一样，都同一定的电磁波段相联系，例如普通摄影使用可见光，全息摄影应用激光，X光摄影运用不可见的X射线，微波摄影利用微波，红外摄影需用红外线作为光源。可见，在从事各种摄影活动之前，须明了光的本质及其特性。

在光的本质问题上，许多世纪以来同时存在着互相矛盾的论点。

早在十七世纪，牛顿提出光的微粒学说。他认为，光由有弹性的球形的微粒组成，他把这种微粒称为光“微粒”，光“微粒”在介质中作高速直线运动。牛顿根据这种理论来说明光的直线传播、反射和折射定律。

牛顿的同时代人惠更斯提出了光的波动学说。在他看来，光是以球面波的形式传播的。如果光在传播过程中遇到障碍物的小孔，则在小孔后面形成新的球面波。用这一理论可以解释光的干涉和衍射现象。

光的微粒学说和波动学说之间仿佛存在着不可调和的矛盾，但后来的实验证明，光同时具有微粒性和波动性，这就是一般说的光的波粒二象性理论。运用这一理论似乎能够解释一切光学现象。

十九世纪麦克斯韦提出光的电磁波理论，认为光是一种在空间传播的电磁波。光的电磁波理论涉及到光的电磁本质，指出光和电磁性质的一致性。电磁波的理论 and 实验都证明了 X 射线、紫外线、可见光、红外线和无线电波等在本质上是相同的，所不同的只是它们在波长上有差别而已，在此意义上说，光就是电磁波。换言之，当电磁波的波长发生量的变化时，波的性质也随之起变化，例如可见光不能穿透铝板，若将铝板置于短波 X 射线之下就变得“透明”了；红外线能穿透薄雾，可见光则不能；紫外线能激发磷光，而红外线却使磷光熄灭，等等。

二十世纪初普朗克提出光的量子论学说。他认为：发光体的原子在发射光波的时候，是一份一份地发射的，光源好象射出一个一个“能量颗粒”，每一份能量(或一个能量颗粒)大小是固定的，称为这种光的一个量子，量子大小只与这种光的频率有关。根据这种学说，光(任何辐射)除了具有波动性之外，还具有用量子表示的微粒性。量子的大小决定于频率，所以紫外线的量子是比较大的，可见光的量子次之，红外线的量子更小。用光的量子学说能解释光的热效应、化学效应和荧光、磷光现象以及光压等。摄影主要根据光的化学效应原理，在感光胶片的乳剂层中含有对光或其它射线敏感的卤化银，它被光(或其它射线)照射时吸收量子而将银分解出来形成潜影，经过显影得到黑色的银影像。

## 可 见 光

可见光，即波长在 400 至 700 毫微米之间的电磁波，它仅占全部电磁波谱(图1-1)的一小部分。

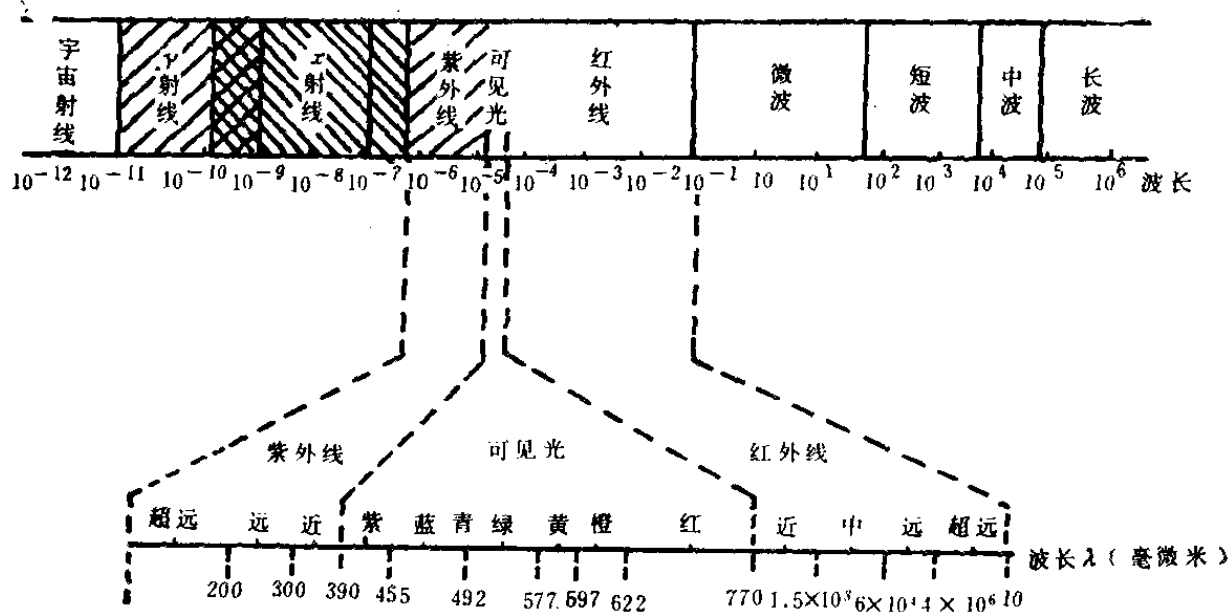


图1-1 电磁波谱

如果使阳光通过一条窄缝照在棱镜上，由于不同波长的光线穿透介质(棱镜)产生的折射角度不同，因而在棱镜后面的白屏上可以看见阳光分散成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光(图1-2)。这种现象正象我们在自然界中看到的虹一样，它是太阳光被雨后散布在空中的小水珠散射的结果，各种颜色代表不同波长的光。

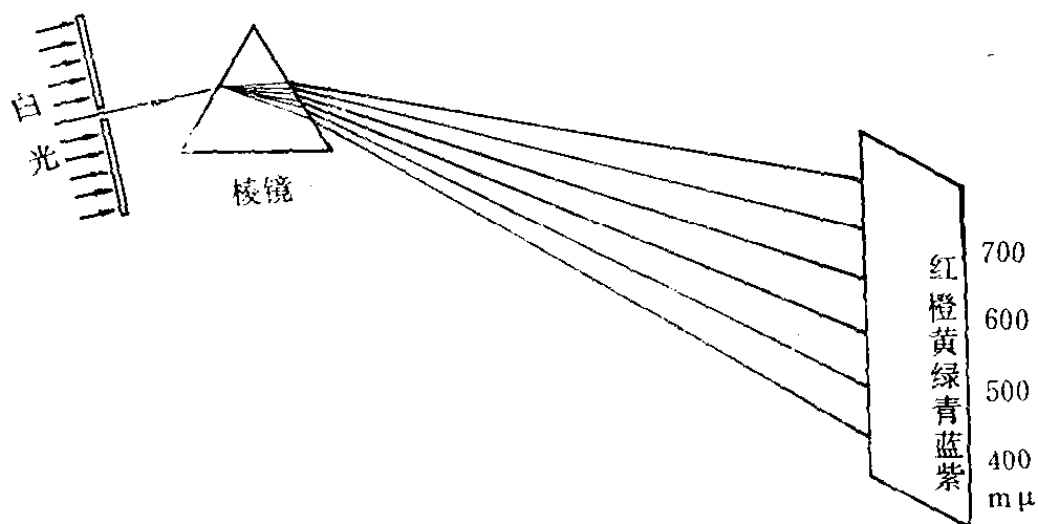


图1-2 白光通过棱镜后的分布情况

从图1-2可见，白光通过棱镜得到一个依波长顺序排列的单色光序列，各单色光的折射率随着波长的增加而减小。波长长的红光通过棱镜折射角度最小，依次是橙、黄、绿、青和蓝色光，波长短的紫色光折射角度最大。各色光之间没有严格的界限，一般来说，一定波长的波算做纯颜色，在光谱里大致可分为七种颜色(图1-3是图1-1的局部放大)。在光谱的红色部分外端存在着不可见的红外线，在紫色光线以外的是不可见的紫外线。

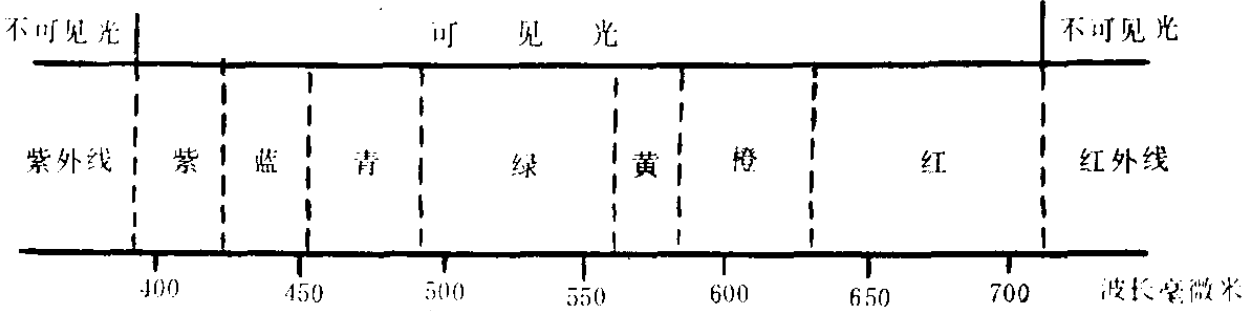


图1-3 可见光的光谱

物体本身是无色的，在可见光下我们才能感觉到物体的颜色。一种物体呈现什么颜色，取决于该物体对光线反射和吸收的能力。如果投射在物体上的白光全部被物体反射，则该物体给我们的感觉是白色的；倘若物体把投射来的白光全部吸收，则此物体成为黑色。我们看到其它颜色的物体，是由于该物体只反射了与这个物体颜色相对应的波长的可见光的缘故，例如，树叶是绿色的，是由于它只反射出绿色光，同时吸收掉其它可见光所致。

一定物体的颜色随着入射光的波长的变化而异。我们把一种物体在日光下表现出来的颜色称为天然色，中午白色日光中红、绿、蓝三个色光各占1/3。而尼特拉灯三原色光

混合比例是：红光占 58.8%，绿光 33%，蓝光只占 8.2%。白炽灯的红光成分比日光多。由此可见，物体反映的颜色只不过是一定波长的光线或者是一定波长光线的混合。

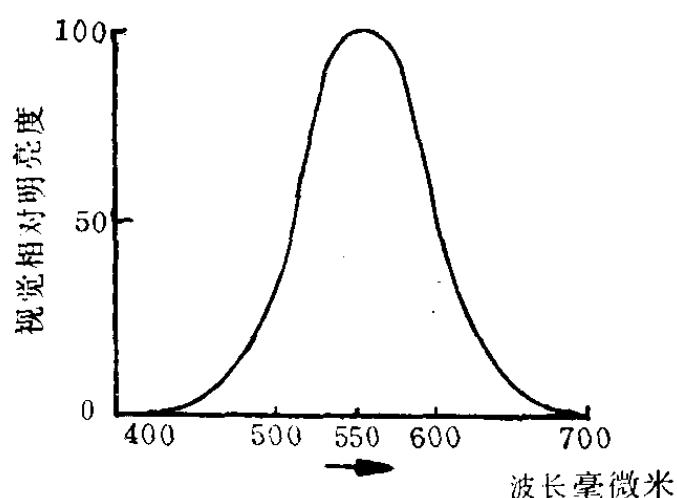


图1-4 人眼对不同波长的光线的敏感曲线

用能量相等的辐射刺激人的眼睛时，人会感觉到波长 550 毫微米的黄绿光最亮，红、紫光最弱，两端的红外线和紫外线则不可见。

## 红 外 线

红外线是在 1800 年被发现的。当时英国的赫歇尔使一支涂黑了的水银温度计受太阳连续光谱的照射，发现在红色那一端外水银柱指示出较高的温度，从而确定了不可见的红外线的存在。红外线波长至 0.5 毫米，该波长约为可见光中等波长(绿色光)的 1000 倍。后来人们借助磷光摄影和温差电偶摄影等各种方法也证实了红外线的存在。

把太阳光谱收集在事先用紫外线激发的磷光屏上，当把阳光遮住之后，便得到太阳光谱的“磷光影像”。这幅磷光影像有如下特征：波长短的蓝紫光强烈地激发磷光，受激发的部分比作为衬底的屏明亮，受黄绿光激发的部分表现得较暗，受波长长的红光激发的最暗。值得注意的是，在红光外

端的磷光受激发后熄灭了。可见这种使磷光熄灭的光超出可见光的范围，从而也证实了在红光外端有一种新的射线——红外线的存在。

红外线系指波长在可见光谱红色端以外，波长从750毫微米至500,000毫微米的射线。通常称750—15,000毫微米一段为近红外区，25,000—500,000毫微米为远红外区，而居中一段为中红外区。实际上运用于红外摄影的只是近红外区里约750—1350毫微米的一段。卤化银照相乳剂仅能记录近红外光谱，超过此范围，由于热辐射的缘故，胶片的贮藏和使用受到极大的限制。例如照相机，周围环境，甚至人体的温度都能使胶片对此范围以外的射线敏感变灰。因此供热记录用的专用胶片只能在液态氮的低温下贮藏和使用。

### 红外线的特性

可见光线能够被物质反射、吸收和漫射，不可见的红外线也具有这些特性。

自然界里的树叶、青草呈现绿色是由于它们受到白光照射后强烈地反射白光中的绿光。二十世纪初人们发现树叶和青草等绿色植物也强烈地反射红外线，甚至比反射绿色光更强烈。因此在红外照片上茂密的绿茵显出白色，宛如皑皑的白雪一样。此外，各种土壤和各种金属以及某些晶体等也不同程度地反射红外线。图1-5为几种物体在可见光和红外辐射下的反射光谱曲线。

在光学实验里经常见到这样的现象：可见光线透不过的物体，对于红外线来说可能是“透明体”。反之，对可见光线是透明的，而对于红外线则可能是不透明的。例如普通玻璃

能够强烈地吸收波长大于 2,000 毫微米的红外线，波长超过 25,000—40,000 毫微米的红外线差不多能被一切物质所吸收。

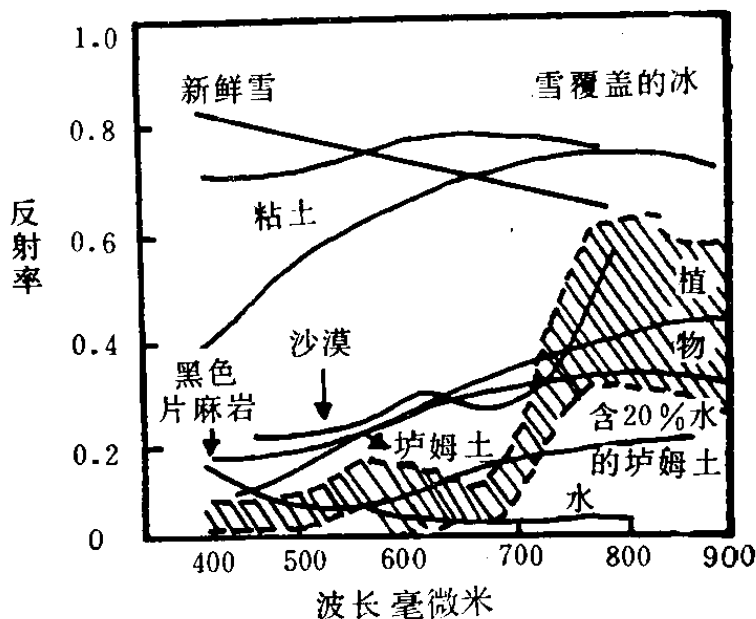


图1-5 几种物体的反射光谱曲线

由于物质对于不同波长的辐射具有不同的吸收能力，所以它对刑法学、考古学和印刷术有着重要意义。例如借助红外线的帮助，能鉴别被涂改的单据和伪造的美术品，还能辨认古旧书籍上模糊不清的字迹。

可见光在介质中发生散射是光波和介质相作用的结果。同样，红外线的散射现象也与光源、介质的特性有关。在烟、云、薄雾和各种乳浊液中均可见到光的散射现象。介质相同时，光被散射的程度取决于光的波长，这可在许多事实里得到证明。当我们透过充满尘埃和烟雾的大气，眺望日出和夕阳时，阳光显出深红色。这是由于蓝、紫光线在穿过大气层时产生的散射比红光强烈而造成的。在大气层里，存在着一些微粒杂质(小水珠和尘埃)，其直径差不多同光波波长相等，这些微粒杂质能够强烈地引起最短光波的散射，而对于最长的光波仅起到微弱的散射作用。因此，在由细微的水滴形成的雾里，红外线比可见光线所发生的散射作用弱得多。红外航空摄影和红外远景摄影皆以此为依据，用肉眼观望恍惚不清的目标，反映在红外照片上却清晰可见，摄影的

有效距离只受地球表面曲率的限制。

## 红外辐射的效应

红外线除了具有上述特性之外，还能引起光化学效应、光电效应和使磷光熄灭的效应。

在叙述红外光化学效应时，首先应提及红外辐射使卤化银感光的作用。感光胶片在光的作用下，乳剂膜上的溴化银分解成溴和银。然而，在光的化学效应里，波长越短的光线，其化学性能越活泼，因为紫外线和蓝紫光比红外线和红色光具有较大的能量。因此，红外线和红色光不能使色盲胶片和正色胶片感光。为满足红外摄影的要求，须往乳剂中加入光谱增感染料，以提高乳剂的感色范围。

其次是红外线的光电效应，就是说，某些金属在红外辐射作用下能引起光电效应。根据此原理制造的氧化铯光电管在1300—1700 毫微米的近红外线照射下能够产生此效应。

另外，如前所述，红外辐射能够熄灭磷光。这一现象是令人惊异的。可见光和短波辐射有激发某些物质（例如钙、钡、锌的氯化物和某些碱金属的硫化物）发光的性能。激发的光线一旦停止，受激发生成的光线也随即停止，这种发光现象通常称为荧光现象。当激发的光线停止时，受激发生成的光线在一定时间内仍继续发光，这种现象叫做磷光现象。实验证明，荧光和磷光不象普通的光线那样产生热效应，因此有冷光之称。荧光和磷光的波长总比入射光的波长长，其颜色和入射光无关，而由被照射的物质决定。所谓“红外磷光摄影术”就是建立在红外辐射使磷光熄灭的特性基础上的。磷光摄影能用于夜间军事侦察。

红外线的种种特性和效应使红外摄影得以广泛应用，例如红外航空摄影、刑法摄影、医学摄影以及蒸发摄影等，都是建立在红外线的反射、吸收、散射和光化、光电、使磷光熄灭效应等基础上的。

## 红 外 线 源

各种加热到一定温度的物体均发出红外线。物体的温度越高，所发出的红外线强度越大，其波长也越向短的区域扩展。例如加热到  $400^{\circ}\text{C}$  的物体，发出的红外线波长约达 900 毫微米；当加热到  $1200^{\circ}\text{C}$  时，物体发出的光波超过全部可见光光谱。电熨斗、火炉、油灯等高温物体能发出短波红外线(图1-6)。

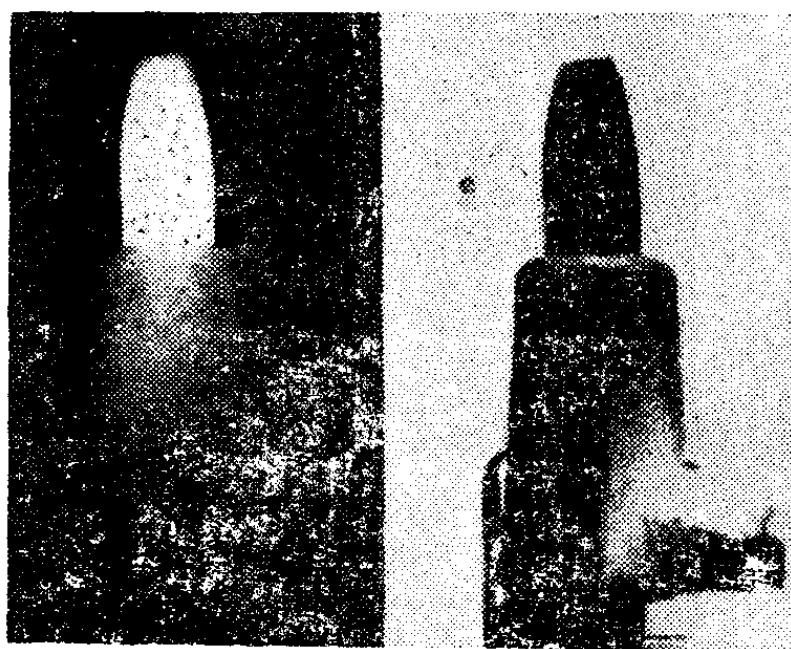


图1-6 通上电流的电烙铁

左图：红外干版 8300，R103黑色滤色镜，光圈 5.6，在全黑环境下曝光 3 小时。

右图：用普通照相材料，光圈 5.6，曝光 5 秒，间接光源

太阳是最重要的红外线源。有人计算过，太阳的辐射能约55%存在于红外线部分，约44%是可见光，约1%为紫外线。由此可见，太阳是红外摄影最重要的光源。

人造光源，例如碳电弧、气焰灯、聚光灯和尼特拉白炽灯等均能强烈发出红外线。碳电弧发出红外线的能量最大，气焰灯是短波和中波红外线辐射器，聚光灯的光谱分布按其负荷而异，主波瓣最大值约在1,400毫微米处。色温在2,800 K的尼特拉白炽灯用途最广，使用方便。

## 二、红 外 感 光 材 料

### 红外感光材料的结构

红外感光材料大体分为两种类型，一种是黑白的，另一种是彩色的。

黑白红外感光材料是由多层物质组成的，一般有保护层、乳剂层、底层、片基和防光晕层等（图2-1）。

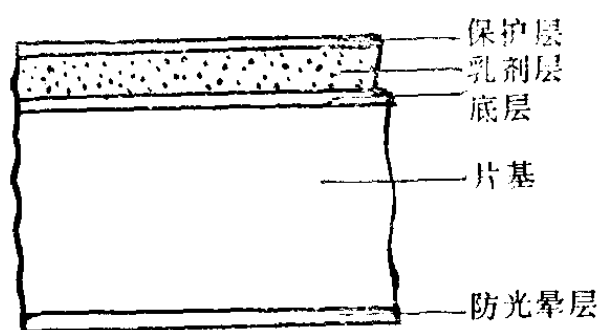


图2-1 黑白红外感光胶片的横断面

乳剂层也叫感光层，是感光材料的主体。乳剂层主要由卤化银和明胶组成，即卤化银颗粒在明胶中形成的悬浮体。明胶作为粘合剂不仅起着阻碍银颗粒沉积和凝集的作用，而且明胶中含有的微量杂

质还起着增感作用。乳剂中除溴化银之外，还含有少量碘化银，在制备过程中加入增感剂、超增感剂、稳定剂、防腐剂、表面活性剂等补加剂。将制成的乳剂用机械方法涂布在片基上形成乳剂层，乳剂层起着感光作用，决定着感光材料的照相性能。

由于胶片品种不同，有的只涂一层乳剂，有的涂两层，接近片基的叫下乳剂层，紧贴保护层的叫上乳剂层。彩色红