

无线电
技术知识
翻译丛书

红外线技术

苏联 Н. Б. 列維金 著
东 生 译

人民邮电出版社



紅 外 綫 技 術

苏联 И. Б. 列維金 著
东 生 译

人 民 邮 电 出 版 社

И. Б. ЛЕВИТИН
ТЕХНИКА
ИНФРАКРАСНЫХ
ИЗЛУЧЕНИЙ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1959

内 容 提 要

本书介绍了红外线的一般性质，它的产生和接收的方法以及一些传播特点。同时也以相当篇幅介绍了红外线在科学研究、工程技术、国民经济和军事等方面的应用的可能性。

红外线技术和无线电电子学有极其密切的关系，例如它的产生、接收与放大等几乎都脱离不了无线电电子学。另一方面，这本书也提供我们业余无线电活动发展一个新的领域的可能性。

紅 外 綫 技 術

著 者： 苏 联 И. Б. 列 維 金
譯 者： 东 生
出版者： 人 民 郵 電 出 版 社

北京东四6条13号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂
发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32	1964 年 4 月北京第一版
印张 2 12.32 页数 38	1964 年 4 月北京第一次印刷
印刷字数 53,000 字	印数 1·8,350 册

統一書號：15045·总1380—无382

定价：(科4) 0.26 元

目 录

紅外線	1
产生紅外線的方法	3
绝对黑体	3
非黑体的辐射	5
紅外線源的类型	7
白炽电灯	8
硅化物辐射器	9
弧光灯	10
鎢弧光灯	10
钡灯	10
超高压氩氙气体发光灯	11
脉冲灯	11
紅外線接收器	15
温差电池	17
测辐射热計	18
具有外光电效应的光电管	22
光电倍增器	25
閾光电管	27
光敏电阻	28
温差电流和光电流的放大	33
电子-光变换器	36
紅外線通过光学材料和大气的情形	38
紅外線在介质內的衰减	38
紅外線通过光学材料的情形	39
紅外線通过大气的情形	43
紅外線摄影	45

紅外線在科学上的应用	49
紅外線摄譜	49
紅外線摄影在天文上的应用	50
紅外線在植物学和古生物学上的应用	52
紅外線在生物学、生理学和医学上的应用	54
紅外線摄影在犯罪学、考古研究、以及研究文件方面的应用	56
紅外線在工业和国民經济中的应用	57
用紅外線进行干燥	57
紅外線摄影在紡織工业上的应用	63
紅外線在养禽业和畜牧业中的应用	63
紅外綫的軍事用途	65
热探向术	66
紅外線制导系統	68
夜視仪	70
通信与信号联鎖	71
紅外線摄影在軍事上的应用	72
軍用紅外綫技术的发展前途	72

紅 外 綫

早在 1666 年，著名的英国物理学家伊沙克·牛頓便証明，太阳光如用玻璃稜鏡加以分解，即形成由各种顏色的光——从紫光到紅光所組成的光譜。但在上世紀初以前，还没有人认为，太阳光中除了可見光以外还包含不可見光。

著名的英国科学家威廉·赫舍尔在 1800 年发现了上述现象。赫舍尔所发现的不可見輻射叫做紅外輻射或紅外綫（在专门文献中有时用这种术语，有时用那种术语①）。

在 1853 年，著名的法国物理学家安德列·馬里·安培提出光綫和紅外綫是同一性质的假設。但由于許多研究者（包括俄国科学家）所花的精力和时间，才彻底証明了各种形式的电磁振蕩（包括紅外綫）在本质上的同一性。現已証明，决定各种电磁輻射的不同物理特性的只有振蕩頻率（或波长）。

关于紅外綫，以前只确实知道它所占据的頻譜段在短波那端与可見光交界。至于紅外綫长波端的边界（約 340 微米）②，在很长时间内都沒人知道。随着研究方法和工具的不断改进，这界綫也不断扩展，直到 1924 年苏联物理学家 A. A. 格拉戈列娃-阿尔卡季耶娃的出色工作出現以后，才确定长紅外綫的边界与超短波无綫电波紧接。利用所谓的质点振蕩輻射器（波长 $\lambda = 125$ 微米），A. A. 格拉戈列娃-阿尔卡季娃証明，用无

① 在文献中（主要是在通俗讀物中），有时用“热射綫”这个术语来表示这种射綫，必須指出，这是絕對不正确的，是不应该采用的，因为現在已知道，任何射綫在被吸收后都要产生热效应。

② 我們来回忆一下，在測量頻譜光学区的超高频电磁振蕩的波长时采用下列单位：1 微米 = 10^{-6} 米；1 埃 ($\text{\AA}$) = 10^{-10} 米 = 10^{-4} 微米。

綫电技术和光学方法都能产生同样的振蕩。

虽然无綫电振蕩和紅外綫这两个区域的銜接已在实验中实现，但頻譜的远紅外区的輻射的性质至今还几乎完全不知道。为了研究和实际应用这部分电磁振蕩，摆在科学面前的任务还很繁重。

在宽广的全部紅外綫区域中，目前在工程技术上使用的是0.76 到 12 微米左右这个范围(近似地說)。

紅外綫的物理本质在于：它們是由于物体（固体、液体和气体）的分子的轉动和振动而发射出来的。通常，这类振动过程是因物体受热引起的。只有在绝对零度（ -273°C 或 0°K ）时，分子运动才会停止。在这温度时，沒有一种物体会发射紅外綫。在高于 0°K 的任何温度时，所有的物体都是紅外綫源。

紅外綫的主要特性归結为下列几点：

1. 紅外綫是不可見的，这特性决定着紅外綫的許多实际应用(工程技术上的、生物学上的、軍事上的等等)。

2. 当各种波长的紅外綫通过大气层时，吸收情况各不相同（对于某些紅外綫，例如对 2.7—3.2 和 5—7 微米的波长，大气几乎是完全不透明的）；就整个来說，在大气中，紅外綫的衰减比可見輻射的小得多。这优点不仅在透明大气中显得极明显，而且在混浊大气中也如此(当有飞尘或薄雾时)，但在浓雾中这优点就几乎显不出来了。

3. 紅外綫容易产生；获取紅外綫的最简单方法是将物体加热。除了热輻射器以外，现在还有更完善的紅外綫源，例如脉冲气体放电管。但在极大多数情形下，还不得不用热紅外綫源。

4. 紅外綫能用各种接收器，例如热式、光电式、光致荧光式接收器等等来接收，在这个意义上，紅外綫是万能的。

重要的是：現代的工具能分出所希望的紅外線波段。為此，採用各種類型的濾光片（吸收式、散射式、干涉式、偏振式），因此，可以以最有效地將紅外線用于實際中。

產生紅外線的方法

在談到紅外線源時，我們必須區別天然源（在作為天然源的物體中，必須考慮我們周圍的一切物體、大氣等等）和為了這種或那種實踐和技術目的產生紅外線而特地製造出來的人工源。

上面已講過，獲取紅外線的最簡單方法是加熱物體；熱體的輻射規律是設計各種熱輻射器（例如白熾燈、電弧、硅化物輻射棒等）的基礎。要了解這類規律，重要的是應對絕對黑體及其輻射有個概念。

絕對黑體

所謂絕對黑體是能把射到其上的輻射全部吸收的物體（無論波長、偏振方向和偏振狀態如何）。可以做出絕對黑體模型——嚴格說來，就抽象概念上講，這是一個用任何不透過輻射的材料製成的，其壁上有小孔的空心球（或其他形狀的空心物體）（圖1）。從小孔射入球內的輻射在內表面上受到多次反射，每次反射都失掉一部分能量，因此射入的輻射幾乎全部被吸收了。換句話說，絕對黑體的吸收率 $\alpha_{\lambda T}$ 永遠等於1（符號 λ 和 T 分

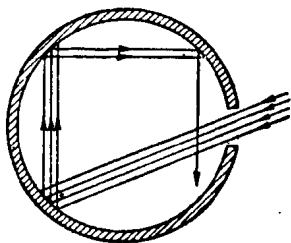


圖 1 絕對黑體模型

別表示輻射的波長和物體的絕對溫度)。把有孔的空心球或其他形狀的空心物體加熱到某一絕對溫度 T ，就可把這小孔變成了一個理想的輻射器，此輻射器的特性決定於絕對黑體的規律。

絕對黑體輻射的基本定律之一是克希霍夫定律：物體在給定溫度 T 和給定波長 λ 時的輻射率 $r_{\lambda T}$ 與其吸收率 $\alpha_{\lambda T}$ 之比，對所有的物體（毫無例外）都是一樣的，並等於絕對黑體在該波長和溫度時的輻射率。

從這定律可導出下面這重要結果：

$$r_{\lambda T} = \alpha_{\lambda T} r_{\lambda T \text{黑}},$$

這式表明，任一物體的輻射率等於其吸收率與絕對黑體在同樣的 λ 和 T 時的輻射率的乘積。由於絕對黑體的 $\alpha_{\lambda T \text{黑}} = 1$ ，所以，它當然是最好的輻射器。顯然，知道了絕對黑體的輻射規律後，對任何物體來說，只要再知道它的吸收率（或積分輻射係數）就可以算出它的輻射了。

斯梯芬·波爾茲曼定律建立了絕對黑體的能量發光度 $R_{\text{黑}}^{\text{①}}$ 與其溫度 T 之間的關係：

$$R_{\text{黑}} = \sigma T^4 [\text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}].$$

在式中，常數 $\sigma = 5.672 \times 10^{-12} \text{ 瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{度}^{-4}$ 。

這公式表明，當溫度升高時，絕對黑體的輻射會急劇增加，因為溫度在這公式中以四次方形式出現。

維恩·葛利岑定律確定絕對黑體在給定溫度 T 時的最強輻射所相應的波長 $\lambda_{\text{最大}}$ ：

$$\lambda_{\text{最大}} T = \text{常數} = 2886 \text{ 微米} \cdot \text{度}.$$

這定律也叫作「位移定律」，因為當溫度上升時 $\lambda_{\text{最大}}$ 向頻譜

① 能量發光度 R 是單位面積上輻射出的通量（其量綱為 $[\text{瓦}] \cdot [\text{厘米}]^{-2}$ ）。

的短波方向位移，而当温度下降时——向长波方向位移。

最后，普郎克公式描述辐射在给定温度 T 时绝对黑体的频谱分布规律：

$$r_{\lambda T_{\text{黑}}} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} [\text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{微米}^{-1}].$$

在这公式中，常数 $C_1 = 3.74 \times 10^4 \text{ 瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{微米}^4$ ； $C_2 = 14380 \text{ 微米} \cdot \text{度}$ ； e 是自然对数的底。

图 2 所示的是各种温度 T 时的 $r_{\lambda T_{\text{黑}}}$ (辐射率或光谱能量发光度) 与 λ 之间的关系曲线。这曲线是按重对数标尺，在斜坐标上绘制的，而且，沿这些曲线的最高点的连线平行地移动任一条曲线即得到下一条曲线。每条曲线与横坐标轴之间的面积表示绝对黑体在该温度时的能量发光度 $R_{\text{黑}}$ 。

非黑体的辐射

理想特性的绝对黑体实际上并不存在，实用上碰到的是实际物体的辐射，这种物体的特性或多或少不同于绝对黑体的特性。这种物体称为**非黑体**。它们可分为两大类。其中一类的特点是：这类物体的辐射的频谱分布与绝对黑体的完全相似，但在任一温度时，这物体的每个波长的辐射都小于黑体的。这类物体称为**灰体**。

灰体的辐射性能用其积分辐射系数 ε_T (或黑度) 来衡量。 ε_T 是该物体的能量发光度与绝对黑体在同样温度时的能量发光度之比：

$$\varepsilon_T = \frac{R_T}{R_{T_{\text{黑}}}}.$$

积分辐射系数 ε_T 与物体的物理特性、表面状态等有关。这系数因材料的不同而不同：例如，对于铝， ε_T —从 0.04 (抛

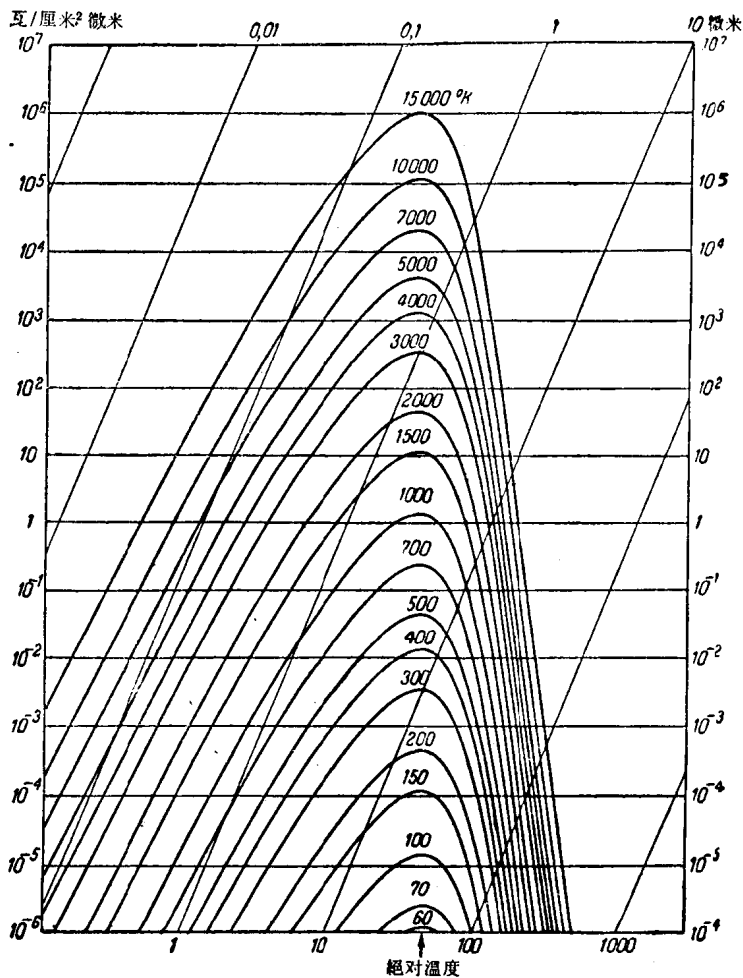


图 2 绝对黑体的普朗克等温线

光表面)到0.05(氧化表面);对于氧化鉄,为0.78—0.82;对于水,为0.98;对于玻璃,为0.94;对于各种顏色的油漆,为0.92—0.96;对銀漆(鋁漆),为0.35,等等。

知道了任一灰体的积分輻射系数 ε_T 以后,就可以用下面这个与斯梯芬-波尔茲曼定律相似的公式計算該物体的能量发光度:

$$R_T = \varepsilon_T \sigma T^4 [\text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}],$$

因此,在需要时,可以算出从这物体表面发出的輻射通量。

属于第二类非黑体的輻射体叫做选择性輻射体。这类物体在各譜段的輻射不相等(在某些段輻射較强,而在其他段輻射較弱)。因此,这类物体的輻射的頻譜分布曲綫有明显的最大值和最小值(属于这类物体的是許多种金屬,特别是金屬的氧化物及其他化合物)。

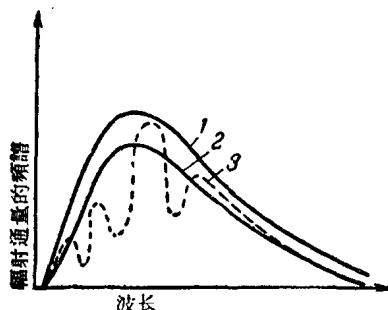


图3 絕對黑体、灰体和选择輻射体在同一溫度时的輻射頻譜分布

1—絕對黑体; 2—灰体; 3—选择性輻射体。

图3所示的是絕對黑体、灰体和选择性輻射体在某个溫度时的輻射頻譜分布特性。

紅外線源的类型

实用中的紅外線源种类极多。它們分成: 1) 热源——由于物体受热而发生紅外線(例如, 白熾电灯, 硅化物輻射器等); 2) 气体放电源——由于电流通过气体或金屬蒸汽时出現发光現

象而发生紅外線（例如，鉀气体发光灯、低压水銀气体发光灯等）；3)混合型源——其中同时有热輻射和发光現象（例如，高压水銀气体发光灯，弧光灯等等）。

紅外線源絕不止于上述类别；此外，我們在这儿就完全沒討論天然輻射器（大气层、海洋等等），也沒有討論象船舶、飞机之类的强功率輻射器。

下面介紹最常用的紅外線源的一些常識。

白 熾 电 灯

任何一种白熾灯（其中的輻射器为鎢絲者），都产生很强的紅外線。真空白熾灯在灯絲溫度 $T=2500^{\circ}\text{K}$ 时的最强輻射在 $\lambda=1.16$ 微米处，而充气白熾灯在灯絲溫度 $T=3000^{\circ}\text{K}$ 时的最强輻射則在 $\lambda=0.96$ 微米处。

表 1 中列出了各种白熾灯的輻射能量的百分数分布数据。

表 1 各种白熾灯的輻射能量分布

輻射类型 \ 白熾灯类型 能量分布, %	真空泡	氬气泡	氬气双螺 紋灯絲泡	氬氬泡
可見輻射	7	10	12	13
不可見輻射	86	68	74	76
支架上的損耗	7	3	2	2
气体中的損耗	0	19	12	9
发出的总能量	100	100	100	100

苏联工业出产的、按基本标准 46，有各种功率和大小的、其光通量为 70 到 19500 流明的标准白熾灯。

除此以外，苏联工业还大量出产各种类型的一般用途的灯

泡 (牌号 MO 的局部照明灯泡, 牌号 BK 的氩气泡, 牌号 3H 的鏡式灯泡, 等等), 还出产特殊用途的灯泡 (功率达 10,000 瓦、光通量为 280,000 流明的探照灯泡、电影放映灯泡、矿灯、信号灯等)。

在紅外線技术中, 特別有价值的是牌号为 3C 的白熾灯——热辐射器, 它用于将各种制品和材料进行紅外線烘干。这种灯泡如图 4 所示。其抛物面状的泡頂的内部敷鋁。牌号为 3C 的灯泡同时又是把辐射流集中并朝向所需方向的仪器。表 2 所列的是这种类型灯泡的数据。

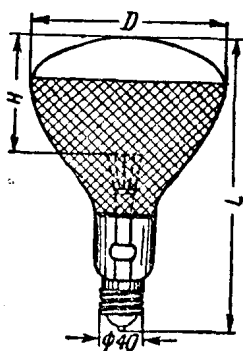


图 4 白熾灯——热辐射器

表 2 白熾灯——热辐射器的数据

牌 号	額定的电气参数		主要尺寸, 毫米			平均的燃用 期限, 小时
	电压, 伏	功率, 瓦	D	L	H	
3C-2	127	250	180	267	108	2000
3C-1	127	500	180	267	108	2000
3C-3	220	500	180	267	108	2000

硅化物辐射器

硅化物辐射器在实验室工作中应用得很广 (用在紅外光谱学中, 等等)。它是一根掺了粘土并经过焙烧的碳化硅棒。这棒的电阻很大, 用电流将它烧热到工作温度 980—1100°C (在棒的两端加 100 伏左右的电压)。棒的尺寸是: 直径为 8 毫米—5 厘米, 长 25—100 厘米。

弧 光 灯

弧光灯是最早的电气光源（在 1802 年由 B. B. 彼得洛夫发明），但目前仍卓有成效地应用着。简单的碳弧弧光灯的辐射主要段在 $\lambda = 0.7 - 0.8$ 微米范围内，它的主要辐射器是正碳极上的焰口（辐射 85% 左右的光通量，其温度约 4200°K ）。由此可见，简单的弧光灯是很强的短红外线源。

碳极之间能产生很强的电弧（弧光灯的正极有芯子，它由稀有金属中的钨系金属盐——铈盐、钍盐、钽盐等浸渍过的碳黑或石墨制成）。在强电弧中，不仅焰口表面发光，由于阴极电子流的推压而紧贴在焰口的赤热气团也发光。

强电弧的电流密度比简单电弧的大得多，前者的焰口温度高达 5000°K 。在频谱的红外段，两种弧光灯差不多同样有价值。

锆 弧 光 灯

这种弧光灯是红外线源，其中的电弧是在常压下的锆蒸汽和氩的混合气体内产生的。装着氧化锆的钨管和石墨环作为两个电极。当弧光放电时，在由熔融氧化物还原而成的锆粒上出现极明亮的光点，其附近形成了锆蒸汽团和电离了的氩团。

这灯产生 $0.25 - 5$ 微米的连续光谱，其最大辐射 ~ 1 微米。在这辐射上，迭加着锆蒸汽辐射和氩辐射的一系列强辐射线。

铯 灯

铯灯是气体发光灯。在铯灯中，两个经过氧化处理的钨电极在铯蒸汽和氩气中发生放电。这灯发射出可见光谱段内的几

乎是連續的輻射，并在近紅外段的 $\lambda=0.86-0.89$ 微米处出現明显的最大輻射。

已出產的鉀燈的功率為 50、100 和 500 瓦。這燈可以進行深度的電流調制。在音頻段，調制度達 90%；當 $f=10,000$ 赫時，調制度可達 60—70%。

超高压氪氙气体发光灯

這燈的工作基于在氪和氙氣中的放電。此兩種氣體是在 30—40 大氣壓條件下，裝在耐熱的石英泡中。這燈的全貌如圖 5 所示。

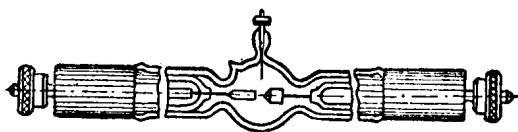


圖 5 超高压氪氙燈

這燈的特點在于其輻射所形成的連續頻譜的能量分布與絕對黑體在 $T=5200-5700^{\circ}\text{K}$ 時的輻射譜很相近。在輻射譜的紅外段，在連續的背景上有一些很強的輻射最大值，它們分別處于 0.76、0.82、0.84、0.9 和 1 微米等處。放電時的電流密度在燈的功率為 750 瓦時達到 500 安/厘米²。

超高压氪氙燈是強功率的短紅外線源。其使用壽命約為 100 小時。

脈 沖 燈

這類氣體發光燈是最強的光源，特別是最強的短紅外線源。脈沖燈產生驟發強度的輻射，這強度比功率最大的恒定輻射源的強度大好幾個數量級。而且，它們是從較小的中等功率能源獲取能量的。

脈沖燈產生驟發的強閃光，這閃光是當高電壓大容量的電

容器放电时出现在灯的两极之间的空间中。这时两极之间在极短期间内（约 10^{-3} 秒或更短）获得大量能量，这能量引起激烈的电离，使气体发光。在闪光时刻，脉冲灯内的电流达几百甚至几千安培。

苏联的各种脉冲灯（图 6）都充有压力为 60—250 毫米汞

柱的氙。在结构上，它们是三电极的气体放电仪器（有阳极、阴极和点火极，后者制成金属带或螺线的形状，绕在灯管的外面）。

目前，苏联工业系列化地出产 12 种脉冲灯，其数据如表 3 所示。其辐射能的频谱分布的特点与超高压灯的一样——在近

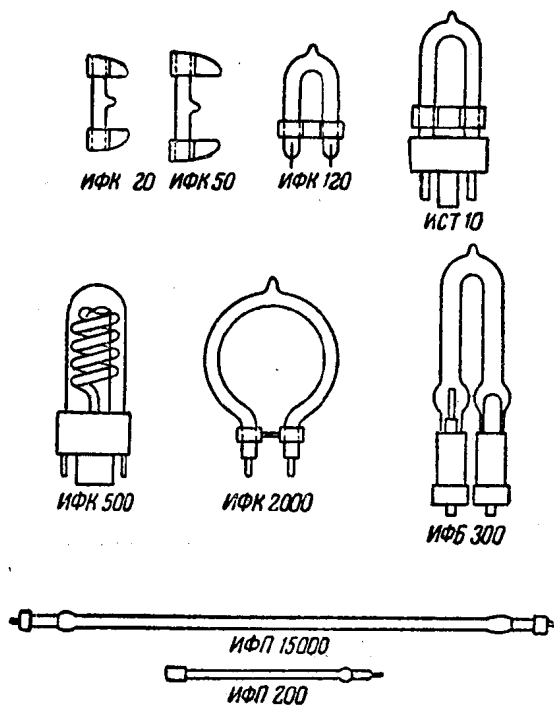


图 6 脉冲灯的类型

红外波段有明显的最大值。

脉冲灯的使用状态有两种，一种是每次产生极少的几次高能辐射（例如，在摄影中），另一种状态是每次产生频率相当