



红外线摄影

中国电影出版社

紅 外 綫 攝 影

〔苏联〕索洛維也夫 著

李 鵬 谷昌照 譯

中国電影出版社

1959·北京

紅 外 綫 攝 影

〔苏联〕索洛維也夫 著

李 鵬 谷昌照 譯

中国电影出版社出版

（北京西单合顺寺12号）

北京市書刊出版业营业許可証出字第089号

財政出版社印刷厂印刷 新华書店发行

开本787×1092公厘^{*} • 印张1 $\frac{3}{4}$ • 插頁5 • 字数35,000

1959年6月第1版

1959年6月北京第1次印刷

印数1—8,110册 定价: 0.34元

統一書号: 15061·69

前 言

不可見光綫——紅外線攝影是攝影中最有趣和最獨特的一部分。

紅外線攝影的特点是：

1. 在紅外線的作用下，景物的反射能力和可見光綫不同。這種情況就決定了許多景物，例如：綠色草木、水面和某些紡織品、顏料等，在攝影表達上的特性。

2. 紅外線對煙霧和混濁介質的穿透性良好，因此能夠穿過大氣中的煙霧拍攝遠處景物（如山脈、建築物等）、穿過眼睛的混濁角膜拍攝內部表面等等。

這些特點在科學攝影中，已獲得最廣泛的應用，但是它們對業余愛好攝影來講也是很有趣的。穿過煙霧拍攝遠處山脈和風景，在明亮的陽光下拍攝能獲得月夜景色，翻拍古老的照片、古畫和版畫，同時除掉上面的污跡——所有這些都可以作為獨特的紅外線業余愛好攝影的實例。

無怪乎紅外線攝影，引起了很多人的興趣，雖然他們對它的優越性了解得還很膚淺。但是我們有關這方面的書籍卻很少，只能夠舉出恩·阿·沃尔柯夫著的“光譜不可見光的攝影”一書，這本書，主要敘述了紅外線和紫外線攝影的一般問題。

同時許多專家——醫生、工程師、地質學家、藝術家及其他專家們，認為在自己部門中應用紅外線攝影是有益的，所以希望了解紅外線攝影與可見光攝影不同的特點，了解拍攝、曝光和處理紅外感光材料的實際條件。

本書的主要任務，是幫助已經了解普通攝影的人熟悉紅外線攝影的實際要求。

目 录

前 言

紅外線	(1)
紅外線感光材料	(5)
增加对紅外線的敏感	(5)
穩定性	(13)
超增感	(15)
滤色鏡	(18)
暗室工作用的滤色鏡	(18)
摄影用的滤色鏡	(21)
紅外線感光材料的摄影及其加工	(25)
摄影机	(25)
調焦	(26)
曝光	(30)
显影和定影	(34)
用全色和紅外感光材料的比較摄影	(37)
用紅外線破坏潜影法获得摄影影象	(38)
运用紅外線摄影的实例	(39)
綠蔭的表达	(39)
拍摄远景	(40)
“夜景”或“月光”效果	(41)
拍摄染色的物体	(42)
紅外線翻拍	(43)

医学中的紅外線摄影.....	(44)
黑暗中摄影	(44)
結束語.....	(48)
附 录	

紅 外 綫

如果讓一股阳光穿过玻璃棱鏡，白色光綫即分散成它的組成顏色：由紅到紫。实验証明，在光譜的紅色部分以外，存在着不可見光綫，它叫做紅外綫。在光譜的可見紫色光綫以外，也有不可見的紫外綫。

这两种射綫是可見光譜兩端以外的不可見輻射区域中广闊的电磁波的一部分。

如果用毫微米 ($m\mu$; $1 m\mu = 10^{-6}mm$) 表示电磁波长，那么輻射光譜可以用表 1 的形式列出。

各种电磁波的波长

表 1

射 綫 名 称	波 长	
宇宙綫	0.002 毫微米	0.005毫微米
鐳的 γ 射綫	0.05 "	0.1 "
X射綫	1 "	100 "
紫外綫	13.6 "	390 "
可見光綫	390 "	760 "
摄影紅外綫	760 "	1,350 "
全部紅外綫光譜	760 "	50,000 "
赫芝波 (无綫电波)	1 毫米	50,000 米

这个表說明，紅外綫在电磁波波长标度上占 很大一部分。但是用来摄影并叫做“摄影紅外綫”的那一部分，仅包括与光譜可見部分紧紧毗邻的近区，紅外綫区域。这一区域

(从760到1350毫微米)的长度约为可见光谱的二倍多。实际上,在大多数情况下,运用于红外线摄影中的不是全部摄影红外线(即760——1,350毫微米),而仅仅是与可见光谱红色部分紧紧毗邻的那一部分,即760到850毫微米左右。虽然如此,但是在这一部分辐射中,实际上红外线摄影的全部独特的效果通常都表现得很明显。

自然,红外线摄影,只能采用光谱中红外线丰富并且可以广泛使用的光源。在大多数情况下,可见光摄影用的所有光源,实际上也完全适用于红外线摄影。

例如:普通红外线摄影、医学摄影、纪录摄影、刑法摄影、黑暗中摄影以及其他各种科学摄影的光源,都可以采用阳光、强光白炽灯、摄影棚用的所有类型的白炽灯、各种类型的弧光灯、闪光灯等等。

红外线电影摄影可利用太阳光,各种类型的白炽灯和摄影棚通常采用的弧光灯。

红外线显微摄影,可利用可见光显微摄影用的白炽灯、炭极和金属电极的弧光灯。

现在我们简单地谈一谈其中最主要的一些光源的性能。

太阳是红外线摄影最主要的光源之一。太阳辐射的光谱成分可以根据图1断定,图中横坐标表示波长,纵坐标表示太阳光的相对能量。绝大量的太阳辐射落在光谱的可见部分,在紫外线区域急速下降,而在红外线区域则下降得非常缓慢。在直射阳光所造成的整个总的辐射中,摄影红外线区域(见图1)约占36%,即稍大于三分之一。

太阳光谱中红外线含量的相对百分比,随着由南纬向北纬的移动和海拔高度的增加而稍有增加,依季节而发生的变化比较小。红外线的含量在太阳低的时候最大,随太阳的升高而稍有减少。

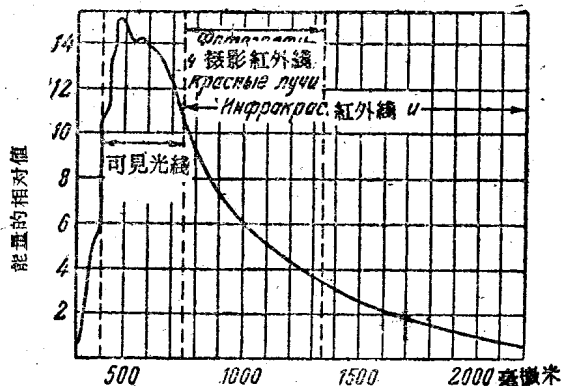


图1 太陽光譜中的能量分布圖

由此可見，直射太陽輻射是有效的紅外線光源，它完全适用于紅外線攝影。

但是上面所談的情況，仅仅适用于落在被攝物上的直射太陽輻射。如果有云、霧、雨等，也就是說，太陽輻射不是直射而是散射的時候，紅外線的強度便急遽下降，因此，在后一种条件下，必須采用長時間的曝光。

陽光輻射的強度取決于大氣條件，白天和夜間的時間等，但人造光源與陽光不同，它具有比較穩定的性能。

普通照明用的鎢絲充氣白熾燈的光綫含有大量紅外線。圖2所示，是燈泡輻射的相對能量（對相互間平衡了的輻射能來談）。900 瓦和

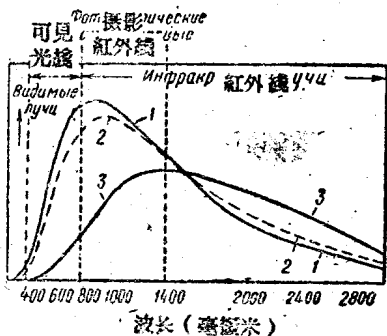


图2 電燈能量的分布

- 1—900瓦的鎢絲燈 2—500瓦的鎢絲燈
3—炭絲白熾燈

500瓦的鎢絲白熾燈的能量（曲綫1和2）在攝影紅外線區域達到最大限度，到光譜的可見光部分，則大大減少。實際上，在普通白熾燈的攝影紅外線區域內，輻射功率的百分比如下：

普通白熾燈	100瓦	36%
普通白熾燈	500瓦	41%
普通白熾燈	1000瓦	41%
普通白熾燈	1500瓦	42%

上列數據表明，白熾燈所輻射的絕大部分能量都在攝影紅外線區域內，因而這種白熾燈是紅外線攝影的良好光源。

有人認為，炭絲白熾燈是富有紅外線的光源，因而特別適用於紅外線攝影。在圖2中列舉了炭絲燈（曲綫3）和兩種鎢絲白熾燈（曲綫1,2）的能量分布曲綫。曲綫表明，炭絲白熾燈的長波紅外線輻射比鎢絲燈豐富，但是攝影紅外線區域內的光綫則比較貧乏。這就是說，鎢絲燈在我們所需要的區域內的輻射強度比炭絲燈高得多。因此，在有選擇余地時，應當首先選用鎢絲燈，因為用這種燈進行紅外線攝影時，曝光時間要比用炭絲燈泡短若干倍。

有些作者認為，炭絲白熾燈根本不應當用於紅外線攝影。

經驗證明，紅外線攝影不用能量小的低瓦特燈泡而用高瓦特燈泡（例如500瓦以上）比較合理，因為高瓦特燈泡的紅外線總能量比低瓦特燈泡高得多。

一般炭弧和強光電弧，發出的光綫，也富有紅外輻射。例如，一般弧光在760—1500毫微米的區域內，約占全部能量的56%。各種類型的弧光，特別是那些不是形成一般光譜，而是形成綫狀光譜的弧光，在紅外線輻射的含量方面是各不相同的，但是其中大多數（如電影制片廠用的弧光）都

是紅外線輻射的强大光源。

如果不可能安装电源綫和照明設備时（例如夜間露天摄影），应使用閃光灯进行紅外線摄影。单次閃光灯是一个在氧气中填滿鎂鋁箔或鎂鋁絲的玻璃泡，用手电筒点燃。多次閃光灯（或气体放电灯泡，所謂电子脉冲灯泡）能够发出一万次閃光，但是要求有可以携带的附属电气設備。

閃光灯和电子脉冲灯都是紅外線摄影用的强而有效的光源，在性能方面仅次于某几种类型的弧光灯。

由此可見，紅外線摄影用的光源的选择問題非常简单，因为普通可見光摄影常用的大多数的光源也完全适用于紅外線摄影。

紅 外 綫 感 光 材 料

增加对紅外綫的敏感

摄影溴化銀乳剂对藍、紫光敏感，并且实际上对黃、綠、紅光完全不敏感。在用这种材料摄影时（例如用普通底片），顏色的表达与我們肉眼对顏色的感受不一致。肉眼在光譜的黃色区段內具有最高灵敏度，而普通沒有經過敏化的感光片仅对藍、紫光敏感。

1837年佛盖尔測定，向乳剂內加入某些染料后，它便能对黃、綠光敏感。向摄影乳剂內加入某些染料使它感受它原来所不感受的色光的过程，叫做光学增感，而这些染料叫作光学增感剂。用这种方法对光譜黃綠色部分敏化的摄影材料，叫做正色片，而对光譜的紅色部分敏化的摄影材料，叫做全色片。

1906年，費利普斯合成了第一种使乳剂約增感到800m μ

的紅外線增感剂 2, 4'-独烯菁 (дицианин)。但是用 2, 4'-独烯菁敏化过的感光材料, 由于它的灵敏度很小, 而且容易产生灰雾仅仅能实际应用于光谱学和其他科学摄影部門中。

1919年阿达姆斯和哈列尔合成了一种染料 4, 4'-独烯菁 (криптоцианин), 它在 700—800 μ 之間具有很强的敏化作用, 而在波长为 735 μ 时敏化作用最大。曾經用这种增感剂制成了敏化的感光材料。用这种感光材料不仅可以进行地面摄影而且还可以进行空中摄影。

1925年合成了新菁 (неоцианин), 它能使乳剂对 650—900 μ 的区域敏感, 而在 830—840 μ 这一段上敏感度最大。

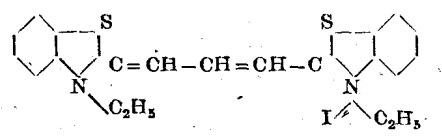
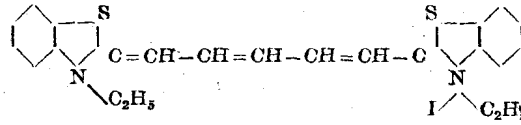
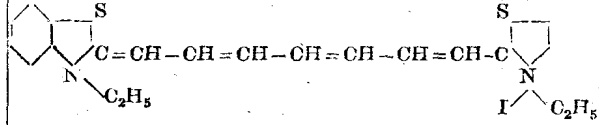
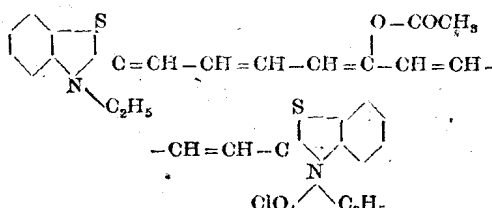
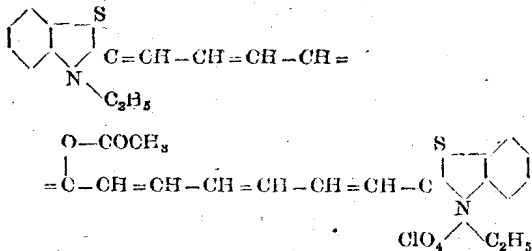
所有这些染料——增感剂都属于所謂菁类染料。經過对这一类化合物的研究, 在 1931—1935 年, 获得了很大数量的新紅外線增感剂, 其性能超过以前获得的所有增感剂。

就结构來說, 大多数菁类染料是由不同数目的次甲基 ($-\text{CH}=\text{}$) 組成的多次甲基鏈連結起来的两个杂环。随着多次甲基鏈长度的增加, 这种染料对摄影乳剂的最大增感逐渐向光谱的紅外部分移动。这一点可以根据表 2 中的数据来断定。鏈中含三个次甲基 ($-\text{CH}=\text{}$) 的染料 1, 能对黄綠光敏化, 最大增感在 595 μ , 它属于全色增感剂之类。染料 2 的鏈中含有 5 个次甲基, 它能使乳剂对紅光敏化, 最大增感在 695 μ , 是一种近区紅外增感剂。染料 3、4 和 5 的多次甲基鏈逐渐增长, 能使乳剂对最大增感在 810、915 和 1020 μ 的区域敏化, 即逐渐向光谱的长波紅外部分移动。染料 3、4 和 5 属于紅外增感剂之类。

为了摄影实践, 必須記住另一个非常重要的关系: 随染料的增感性能逐渐向光谱的紅外部分移动, 被这些染料敏化

各种染料——增感剂的结构式

表 2

	染料	最大 增感 基 数	最大 增感 基 数
1		3	595
2		5	695
3		7	810
4		9	915
5		11	1020

的乳剂在滤色镜下测定的光谱灵敏度（溴化银本身的灵敏度除外）不断地急剧下降。

这种关系，表示在图 3 中，图中横坐标表示多次甲基链中的次甲基数目，纵坐标表示光谱灵敏度值。链中有三个次甲基的全色增感剂的灵敏度最高。链中有 5 个次甲基的近区红外增感剂的灵敏度大大降低。链中 7 个和 9 个次甲基并且在光谱红外部分增感越来越远的红外线染料的灵敏度更低。

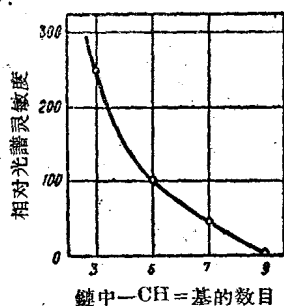


图 3 多次甲基链长度不同的染料的光谱灵敏度相对值

这种情况主要还说明了前面曾经提到的一件事实：在实际条件下通常使用对光谱近区红外部分（即 760—850mμ 之间的区域）敏化了的敏感度较大的感光片，而对长波敏化了的灵敏度较低的红外感光材料，则主要用于科学摄影（例如，拍摄光谱）。

在文献中没有关于红外感光乳剂的配方和制造方法方面的材料。因此，这里只谈一下现成的红外感光片的性能。

国产的有三种科学摄影用的红外感光片：红外片 760，红外片 840 和红外片 880。这些感光材料的性能，列在表 3 中。

感光度是在 KC-14 红滤色镜下在推荐的 γ 为 1.3 时测定的，而颗粒度是按照高洛霍夫斯基和列文别尔格所研究出来的方法测定的。颗粒度 $G = \frac{100}{m_{np}}$ 式中 m_{np} 是在颗粒表上当照明度约为 500 米烛光时，颗粒开始有妨碍时的极限放大比例。

表 3

摄影性能	乾板类型		
	紅外片	紅外片	紅外片
普通灵敏度以国家标准作单位	1.4	0.18	0.02
最大反差系数 (γ 最大)	2.0	1.6	1.6
分析力R (綫/毫米)	65	45	11
顆粒度 (G)	22	22	22

这些干板的光譜灵敏度曲线，如图 4 所示。应该指示，这三种最大灵敏度为 $430m\mu$ 的干板本身的灵敏度，实际上是相同的。同时紅外增感剂造成的附加灵敏度对最大灵敏度为 760、840、880 $m\mu$ 的干板来说則不断降低。这一点也可以根据表 3 中所引用的感光度数值来断定。

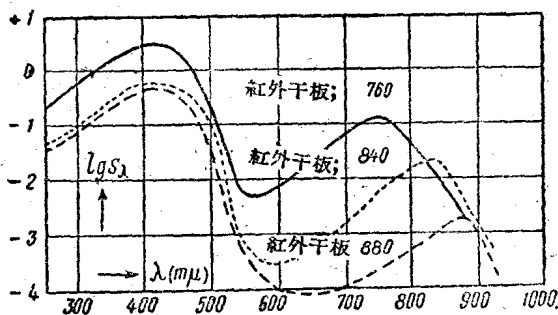


图 4 紅外干板 760、840、880 的光譜灵敏度曲线

这些干板不同显影时间 (2—12 分鐘) 的特性曲线，如图 5 所示，曲线表明，随着显影时间的增加，灵敏度和反差也增加。

現在在国际市場上出产的紅外感光材料中，爱克发紅外感光片的特性公布得相当全。

爱克发厂制造紅外感光片采用二种主要乳剂：灵敏度較高和反差較弱的“拉必特”（рапид）及灵敏度較低但反差較强的“哈尔特”（харт）。在爱克发米吐尔对苯二酚显影剂中，“拉必特”干板，显影5分鐘达到 $\gamma 1.5$ ，而“哈尔特”干板則达到 $\gamma 2.4$ 。

各种紅外干板的特性，列在表4中，其光譜如照片1（見附录）所示，其中名称“紅外700”表示这种干板的最大增感为 700μ ，“紅外750”表示最大增感为 750μ ，余此类推。

表4表明，实际的最大增感与标称的最大增感稍有差别，反差較强的“哈尔特”干板的顆粒較小，而分析力較强，因此，在放大时这种干板比“拉必特”干板效果好。

使用各种紅外干板的实例列在表5內。这个表表明，如果有可能延长曝光和必須得到比較清晰和反差較强的影象，并且后来还可以用来进行放大时，則采用灵敏度較低而反差較强的“哈尔特”干板。这种干板可以用来进行光譜摄影、天文摄影、拍摄紡織样品、考古研究、拍摄古代的手稿、雕

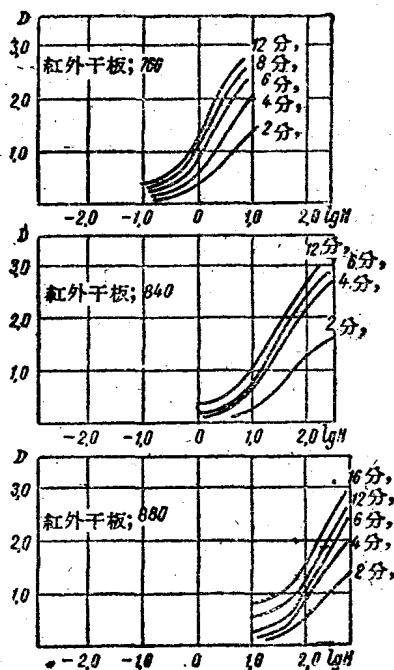


图5 科学摄影用紅外干板的特性曲线

爱克发紅外干板的特性

表 4

干 板 种 类			实际增感极限 ($m\mu$)	顆粒的平均大小 (μ)	分 析 力 (綫/毫米)	保存期限
紅外	700	哈尔特	720	1.05	60	6 个月
"	750	"	750	1.05	60	"
"	800	"	830	1.05	60	"
"	850	"	860	1.05	60	"
紅外	700	拉必特	720	1.20	45	5 个月
"	750	"	750	1.20	45	"
"	800	"	830	1.20	40	"
"	850	"	860	1.20	40	"
"	950	"	935	1.20	40	1.5 月
"	1050	"	1030	1.20	40	1 个月

刻、图案、繪画作品等，并用强反差显影剂显影。

风景摄影和空中摄影可以采用灵敏度較高反差較弱的“拉必特”干板，用反差弱的显影剂显影。

根据照片是否需要细腻层次和較高的准确性，或者較高的艺术性，可以使用反差較强的或反差較弱的感光片。特别是进行各种翻拍工作、黑暗中摄影、在阳光下获得“月夜效果”、医学摄影、地理学摄影、地質学摄影、植物学摄影与矿物学摄影时，更加如此。

有两个利用紅外綫摄影的特別情况很有意思。

1909年，俄国天文学家吉霍夫建議用感受光譜不同区域的两种不同的感光材料，同时拍摄一个物体，然后比較这一对照片。他利用这种方法得到了极其宝贵的火星照片。

发阿斯确定，在这种情况下最好是在光譜的下列两个区域内同时拍摄：在 $650m\mu$ 的紅色区域和 $750—850m\mu$ 的紅外区域。为此，应当配合使用全色感光材料和紅外感光材料。