



工學小叢書

紅外線攝影

勞 林 著
余 小 宋 譯

商務印書館發行

工學小叢書

紅 外 線 攝 影

勞 林 著
余 小 宋 譯

商 務 印 書 館 發 行

中華民國二十六年一月初版

(62223)

工學叢書
紅外線攝影一冊

Infra Red Photography

每冊實價國幣叁角

外埠酌加運費郵費

原著者 S. O. Rawling

譯述者 余小宋

發行人 王雲五
上海河南路

印刷所 商務印書館
上海河南路

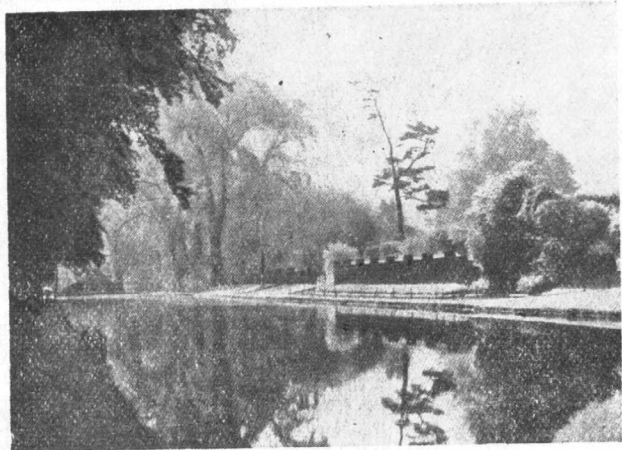
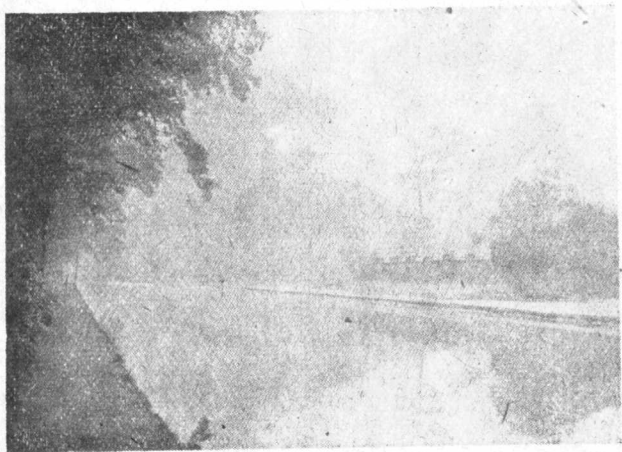
發行所 商務印書館
上海及各埠

版 翻
權 印
所 必
有 究

六七二五上

(本書校對者李家超)

插 圖 一
晨 霧



上圖係用汎色感光片,加紅濾光器所攝之照片。

下圖係用紅外線感光片,在鏡頭上加濾光器遮斷各種可見光線所攝之照片。

SW 722/14

序

紅外線爲光譜中肉眼可見光線外，波長在 7600\AA 以上之射線。雖非吾人視覺能力所能感知，但其熱力之作用甚大，可用精密之溫度計測之，故亦稱之曰熱線。自一八〇〇年赫瑟爾氏 (Sino William Herschel) 發現此種射線以來，疊經阿樸納 (Abney) 及佛歌 (Vogel) 諸氏之研究，不但明瞭紅外線之性質，且能在攝影術上顯其特殊之效用。因紅外線爲長波射線，不受瀰漫於空際中烟霧塵埃之微粒所屈折分散，而有穿透烟霧，及能使遠距離目的物攝影清晰之特性，乃引起一般研究者之注意，由理論上之研究，逐漸達於實用上之講求。於是近數年來，紅外線攝影之進步，大有一日千里之勢。最近自有斯蒂芬大佐 (Capt. A. W. Stevens) 三百三十一英里之遠距離紅外線攝影，及柯達公司 暗中攝影之成績宣佈以後，更令人瞠目咋舌，驚奇不已，尤能引起一般軍事家之注意。蓋紅外線在攝影上之特性，既有穿透烟霧之能力，又能於黑暗中攝影，且其距離之遠竟可達三百英里以上。由此數點綜合觀之，設利用於

戰爭上，其威力影響於勝負，豈可忽哉。職此之故，紅外線在軍事學上頓成爲一重要之問題，現各國均努力於此種研究，雖其進步已達如何程度，因軍事秘密關係，非外人所能推測，若果能依其所具之重要特性，在應用上能充分發展，則現今之戰術上，或竟因此而發生絕大之變化。

紅外線攝影在軍事上既如此重要，各國研究所得之結果，常秘而不宣，故研究紅外線攝影之書籍盡屬普通之記載。詳盡之專書，殊不多覩。在學術貧乏之中國，更未見有此種書籍出版。僅於一二研究自然科學之雜誌中，偶有關於紅外線之文字發表。編者愴於我國人士，對於此種知識太感缺乏，乃以 S.O. Rawling 所著 *Infra Red Photography* 爲藍本，參攷英美各國攝影年鑑，攝影雜誌及中國牛頓社出版之雜誌「牛頓」等書，編譯此冊。內容先敘述光學上紅外線之原理與性質，次討論紅外線攝影之方法與應用，雖紅外線攝影之原理，涉及高深之物理學及攝影術；但本書係作初步之研究，敘述力求簡單，易於明瞭，不作高深之討論。本書之目的在使國人知紅外線攝影在時代上之重要性，現今埋頭研究，力圖猛進者，已不知達何種程度，冀能因此而引起國人之注意急起直追，努力於此種研究，則幸甚矣。

此書脫稿後，曾由本所同事胡彤伯先生校讀一次，多所指正，謹此誌謝。譯者對於光學既無深刻之研究，而攝影一道尤少經驗，錯誤之處，知所難免。倘蒙海內專家不吝指教，則無任榮幸。

余小宋序於真如司法行政部法醫研究所

目 錄

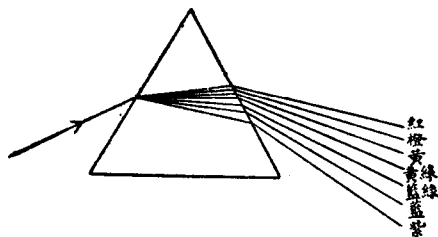
第一章	緒論.....	1
第二章	各種能感紅外線光之物質.....	8
第三章	紅外線感光片之處理.....	22
第四章	紅外線攝影之方法.....	33
第五章	紅外線攝影之應用.....	53

紅外線攝影

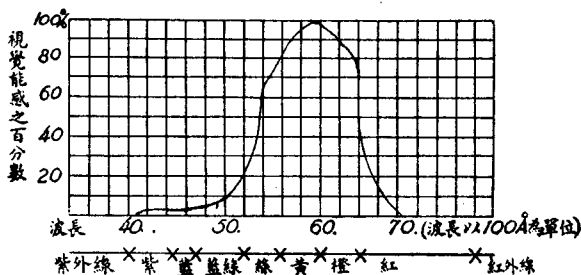
第一章 緒論

白色光之光線，經過透明之稜鏡 (prism) 而射於白紙或他種白色之物體上，其所生之現象可以第一圖說明之。蓋白色光線透過稜鏡，其所射之方向乃發生變遷而分散，或為一較寬之光帶，謂之帶狀光譜 (spectrum)，此種光譜呈有各種不同之顏色，適與雨後天空中所現之虹相似。由此種白色光線之分散，而呈各種有色之光線，可知所謂白光者，係光譜中各色光線所構成之混合光，其情形極為複雜。在光譜中所呈之顏色大別之可分為紫(violet)、藍(blue)、藍綠(blue-green)、黃綠(yellow-green)、黃(yellow)、橙(orange)、紅(red)七色。在光譜中紫色與藍色部份光線之曲折度，較橙色與紅色部份光線之曲折度特大。其餘綠、黃等色部份光線之曲折度，則具有中間性。換言之即光譜中各色光線之曲折度以紫色藍色為最大，由藍綠、黃綠、黃、橙等色以至於紅色，漸次減小也。至於光譜中各色光線之強

度，就人之視覺而言，則以光譜中部曲折適中之處為最強；故光譜中黃綠等色為最顯明。光譜兩端之紅色光線與紫色光線則極暗淡，過此以往，則逐漸無光而至黑暗。第二圖所表示者即人目對於各色光之感度。但此種黑暗情形，僅係肉眼所感之現象，其真實情形並非如此，在紫色光線與紅色光線之外，仍有更多之射線 (radiation)，雖為肉眼感光能力所不能覺，但可用精密之儀器考察之。在光譜中紅色光線與紫色光線以外



第一圖 白色光經稜鏡分散為光帶其中可見之部份



第二圖 視覺對於光譜中各色光之靈敏度

爲肉眼所不能感覺之射線，謂之紫外線(ultra-violet) 與紅外線(infra-red)。

光線之成分中混有各種射線，透過稜鏡則分散而成光譜。凡由白色光線透過稜鏡，所生成之光譜，其各色光線之次序及性質，均完全相同。若研究光譜中射線之種類與性質，則極感困難，在物理上爲易於明瞭各種光與射線起見，用一種假說(hypothesis)，以解釋之。即假定瀰漫於太空之中有一種媒質，名曰以太(ether)，能傳達電磁波(electromagnetic waves)以經過空間。此種假設之物質與普通物質不同，不獨瀰漫於太空，即各物質分子之空間中，亦莫不有其存在。在物理上解釋透明之透光體，即係根據此種理論也。凡光之各種射線不同，係因其振動(vibration)之快慢不同所致，其振動速者，即與振動慢者有顯然之差別。就其振動之性質方面言，其頻率(frequency)愈大者，其光波之波長(wave-length)愈短，即光在每秒鐘內，其振動次數愈多者，其光波之長度亦愈短。故光譜中之各種光可依其頻率，或波長之數字，或每一厘米(centimetre)中光波之數字爲標準，而分別其種類。以波長爲標準(wave-length scale)而分類，爲研究光學中通用之方法，本書中所採用者，亦係此種。

波長者係相連續二光波間之距離。換言之，亦即一光波自起點至終點間之距離。普通各種光波之長均極小。在光譜中部綠色之光線，其經過空間時光波之波長，約為 5,400 埃斯特稜單位 (Ångström units)。每一埃斯特稜為一千萬分之一毫米 (millimetre)，係計算光波波長之單位，通常以 Å 表示之。

在光譜中各種光之射線，可依其一定之波長區分之，茲列表如下：——

射線之種類	以 Å 計算波長之近似數	
紫外線光(肉眼不能見者)	1000 至 3900	} 波長在此範圍 內所成之光， 在光譜中為肉 眼所能見者。
紫色光	3900 至 4400	
藍色光	4400 至 4900	
藍綠色光	4900 至 5100	
綠色光	5100 至 5500	
黃綠色光	5500 至 5750	
黃色光	5750 至 5900	
橙色光	5900 至 6300	
紅色光	6300 至 7000	
深紅色光	7000 至 7600	
紅外線光(肉眼不能見者)	7600 至約 10,000,000	

凡各種射線之波長，較紫外線之光波更短者，(即 $1,000 \text{ Å}$ 以下者)，及較紅外線之光波更長者(即 $10,000,000 \text{ Å}$ 以上者)

爲 X 光線光波，及赫芝波 (Hertzian wave) 或無線電波。

由上列之表可知在光譜中，紅外線所佔之區域最寬，其波長數字之範圍亦極大，係由 $7,600\text{Å}$ 至 $10,000,000\text{Å}$ 。雖非吾人肉眼所能見，但亦極關重要，故吾人應研究此種射線之各種特殊性質。在光分散之簡單試驗法中，用極敏銳溫度計 (sensitive thermometer) 置於分光景紅色光線外側，靠近紅色光線之處，觀察溫度計略向上升，可證明有此種射線之存在。因此科學上一般均承認紅外射線爲一種熱線 (heat rays)。

在光譜中可見之部份，呈有各種不同之顏色，此種特殊性質，係由於一定波長之關係，固已爲吾人所稔知。而在另一方面，則紅外線光所占區域雖極寬，而吾人之覺官尚不能有所感覺，足以說明紅外線光區域內，各種射線波長不同部份之特殊性質。在普通情形之下，常人均能感覺各種光源所發射可見之光，而區別其顏色與光度之強弱。紅外線光雖亦能刺激觸覺覺官，但較之在視覺器官中發生感覺之刺激，相差甚遠。故吾人對於此種射線之知識仍極有限。雖能感覺此種射線之強度，而對於光譜中如此遼闊區域內各射線性質上之不同，尙無由區別也。卽就普通感覺而言，有熱之射線射於吾人之體上，乃有溫暖感覺，但除此之外，既不能感覺此種有熱射線之波長，亦

無法區別此種有熱射線與另一種有熱射線之區別也。至於如何用人之感覺，證明在某一區域內有紅外線之存在，以後當作更進一步之研究，現今暫不討論。

用攝影方法，雖亦能使光譜中紅外線光廣汎區域之邊際感光，但其感光之範圍僅能及於波長約 $10,000 \text{ \AA}$ 之射線。若用特殊感光物質與特殊方法，則能用攝影法使波長 $20,000 \text{ \AA}$ 之射線，亦可感光。

就波長而言，紅外線光係波長自 $7,600 \text{ \AA}$ 至 $10,000,000 \text{ \AA}$ 之射線，在光譜中所占之區域極廣。由攝影法所能感光者僅為其所佔之區域一千分之一。由特殊感光物質與特殊方法所能感光者，亦僅為其所佔之區域千分之二。由紅外線光所佔區域全體之比例而言，實極微細。但由此所得之結果，有時實已足以驚人。當各種物質經過光譜時，為光線所照耀，其狀態發生驟然之變遷，在光譜中肉眼所能感之區域內，則所生之變遷為呈各種鮮明之顏色。在光譜內肉眼所能感之區域外，雖亦發生變遷，特非吾人之目力所能感覺。但此種肉眼所不能見之現象，可由紅外線攝影中感得。故紅外線攝影能使肉眼所不能區別之物質，呈顯然不同之狀態。再者，用紅外線攝影，亦能攝得肉眼所不能見之目的物，使其形態畢露。本書之目的係說明利

用紅外線攝影之方法，並略述其重要之理由。

光波波長之單位，在物理學上稱爲埃斯特稜(Angström)簡寫爲 \AA ，爲一毫米(millimètre)之一千萬分之一($\frac{1}{10,000,000}$ mm.)，如光譜中藍色光波之波長爲 $4,400\text{\AA}$ 至 $4,900\text{\AA}$ ，若按毫米計算則其波長爲0.00044毫米至0.00049毫米。但光波波長所用之單位，頗不一致。在各種攝影書籍中，有時用 $m\mu$ 爲單位，係millième de micron之簡寫，爲一毫米(millimètre)之一百萬分之一($\frac{1}{1,000,000}$ mm.)較 \AA 大十倍。如 $4,400\text{\AA}$ 即等於 $440 m\mu$ 。在我國攝影刊物及發售照相材料之店舖中，通稱 $m\mu$ 爲『度』，如某種感光片能感 $6,300\text{\AA}$ 至 $7,000\text{\AA}$ 或 $630 m\mu$ 至 $700 m\mu$ ，則稱爲630度至700度。本書中所用之光波波長單位爲 \AA 。閱者知 \AA 爲 $m\mu$ 或度之十分之一，即可明瞭各書所用波長單位彼此之關係。

第二章 各種能感紅外線光之物質

普通攝影所用感光片，對於光譜中紫外線光區域，紫光區域，藍光區域內之射線極易感受。但對藍綠(blue-green)光射線感光之靈敏度(sensitivity)則極低，對於綠色光之射線，則幾毫無所感。當普通感光片對於光譜曝光時，在紅色光線與紅外線區域內之射線，則更不能有感光作用。例如紅花黃花與綠葉相映成趣，用普通感光片攝影，則均呈黑色，彼此毫無區別。故對於光譜中之綠，橙，紅，紅外等區域中射線之攝影，須用特殊之方法與特殊之感光物質。

紅外線攝影之磷光法(phosphorescence method) 有若干種物質，經紫外射線或藍光之射線照耀，雖光源已離去後，仍能發光，此種光謂之磷光(phosphorescent light)，呈淡藍色。設攝影所用之普通感光片與有磷光發生之物體接近，亦能顯像。紅外射線射於有磷光發生之物體上，在最初磷光之發光本領(luminosity)增加，但其衰變率(rate of decay)亦加速甚驟，最後紅外射線能使磷光熄滅甚速。設在攝影時用有磷光發

生之幕，使其一部份先暴露於紅外射中，則受其照射之處燐光消滅。再用普通感光片攝影，則在顯影之時，由紅外射線在感光片上所成之像爲正像 (positive)。用此種方法所能攝得者，可達光譜中紅外線波長 $20,000 \text{ \AA}$ 之部份。

由潛影消滅之紅外線攝影 (destruction of latent image) 赫瑟爾(Herschel) 於 1840 年發現曾經曝露於藍光中之感光片，再暴露於紅光或紅外射線中，則第一次由曝露於藍光中所生之潛影(latent image)消滅，而第二次在紅光或紅外射線曝光所得之結果爲正像。後經多數攝影家加以研究，於感光片上加某種染色劑(dyes)所得之效果更大，幾經研究，紅外線攝影乃日漸增進。至 1924 年，利用紅外線攝影在水銀光譜中(mercury spectrum)所能感者爲波長 $11,280 \text{ \AA}$ 之紅外射線。

攝影乳膠(photographic emulsions) 之直接感光性 以上所述，用紅外射線攝影之方法，均係間接感光，在攝影術上尙不合用。現所欲研究之問題，乃紅外射線如何能運用於普通攝影上。即感光片經紅外射線感光後，如何能使其所顯者爲底片(negative)。爲達到此種目的，對於紅外線攝影所用之感光片，其靈敏度必須有所變更，且須擴充其所能感光之範圍。

於 1880 年，阿樸納(Abney)，即發表其製造能感光紅外射線乳膠之方法。用此種乳膠製成之感光片，在日光光譜中能攝得波長 $10,000 \text{ \AA}$ 之紅外射線。並謂曾由一熱水壺自身所放射之熱射線，而攝一影。但依其方法製成之乳膠用於攝影感光片上所得之結果，不能十分正確，故依其方法而研究之人較鮮。

某種物質如酸性亞硫酸鹽(bisulphites)能使普通感光片對於紅色光射線感光。例如將感光片浸於百分之五酸性亞硫酸鈉溶液中十分鐘，用水洗滌五分鐘後，再浸於濃度百分之一.5 碳酸鈉稀溶液中十分鐘。如此製成之感光片對於微弱紅光乃有靈敏性(sensitivity)。其所能感之範圍可達波長 $8,000 \text{ \AA}$ 或在波長 $8,000 \text{ \AA}$ 之外。

阿樸納氏之方法及用酸性亞硫酸鹽方法，均不能有較高之靈敏度。在實際上，攝影家恆不重視之。現在所用紅外射線感光材料，係以 1873 年佛歌(Vogel)氏所研究者為基礎。佛歌氏初為避免感光片上感光層有散光起見，曾在乳膠上加某種染色劑之溶液。但覺此種加有染色劑溶液後之乳膠，能感受普通視覺範圍以外之射線。如是乃悉心研究此種新發現之事實，並從事試驗。知有數種粉紅色之染色劑能使乳膠對於綠色感光，且能增加感光片對於所染之色吸收光帶上鄰近射線之靈

敏度。以前攝影所用之感光片，僅能感藍光者，乃得一大進步而可感綠光。近來化學家極力研求曾得敏化劑 (sensitiser) 多種。第三圖至第十圖之圖解，即係說明現今最通行各種敏感染色劑感光之效應。由此可知各種感光片對於各種射線之靈敏度。其曲線最高點所表示者即其靈敏度最高之處。現用之各種乳膠均以對於藍色光射線之靈敏度為最高。

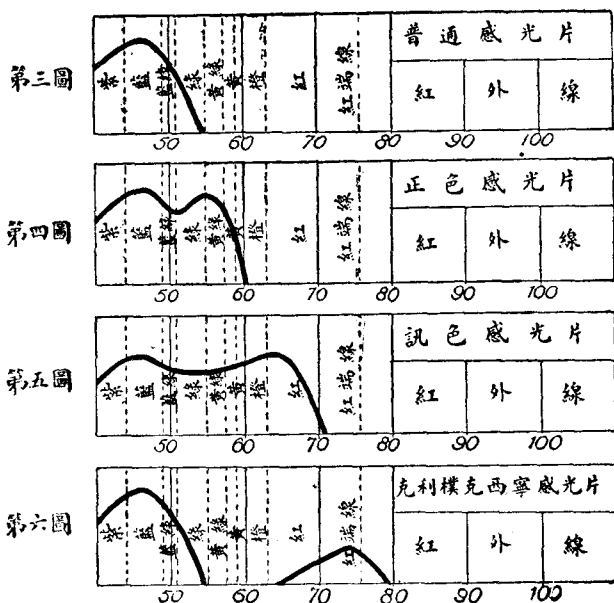
第三圖所示者為普通攝影乳膠所製而未加染色劑之感光片，其靈敏度以對於波長 $4,700\text{\AA}$ 之射線為最高（圖表中之數字係以波長 100\AA 為單位，如 50 即係 $5,000\text{\AA}$ 之簡寫）。但對波長 $5,400\text{\AA}$ 以上射線之靈敏度，則下降甚速，幾至不能感光。

第四圖所示者為用粉紅染色劑愛利斯洛新紅 (erythrosine) 增加乳膠靈敏度所製成之感光片。經此種染色劑浸染之感光片，對於綠光射線吸收力甚強，由圖中之曲線所表示者，可知此種乳膠除對於藍光之靈敏度極大外，在波長 $5,600\text{\AA}$ 之時，其靈敏度亦最高。即所加染色劑之吸收帶，在近於綠色光中部之處為最強。凡感光片具有此種特殊性質之靈敏度者，謂之正色感光片 (orthochromatic or isochromatic)。

第五圖所示係曾加 sensitol red 染色劑所製之感光片，由該圖中之曲線可知此種染色劑能增加感光區域之靈敏度，所

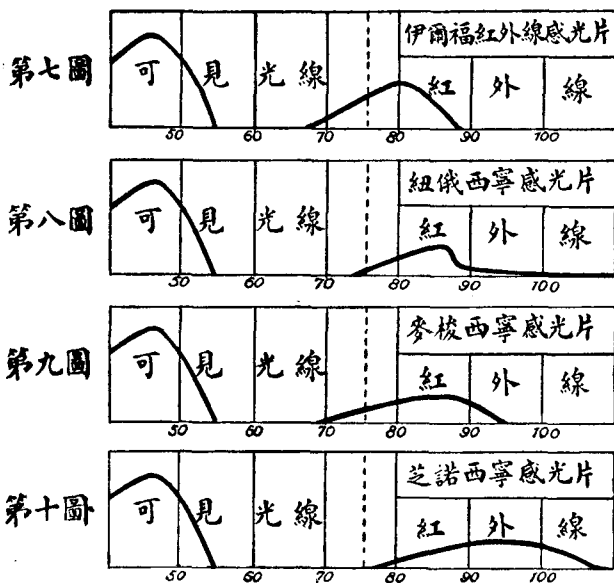
能達之範圍，可至波長 $7,000\text{\AA}$ ，其最高點約在波長 $6,400\text{\AA}$ 之際。具有此種靈敏度之感光片，謂之汎色感光片(panchromatic)。汎色感光片除深紅色射線之外，對於各種顏色之射線均能感光。

其餘第六圖以至第十圖，係表示近來對於感光片之研究日有進步，其靈敏度邁進之情形。如第六圖用克利樸托西甯



第三圖至第六圖 各種感光片敏感之範圍

(kryptocyanine) 爲染色劑，爲其邁進之第一步，能感深紅色之射線。其新增之另一靈敏區域，幾可達波長 $8,000 \text{ \AA}$ 。在此圖中表示靈敏度之曲線，完全與尋常乳膠所能感光之靈敏度分離，成爲兩部份。第一部份所表示之靈敏度與尋常之感光片無異，其他一新靈敏度之部份，則至波長 $6,500 \text{ \AA}$ 起至波長 $7,900 \text{ \AA}$ 止，幾佔深紅色射線之全部。適爲可達能感紅外線範圍之邊際。由此種方法製成之感光片，通常雖亦列入爲紅外線



第七圖至第十圖 各種感光片敏感之範圍

感光片中，但就其實在情形而言，名爲赤端線感光片 (extreme-red sensitive) 最爲適當。

至於真正對於紅外線之敏化劑 (sensitizer)，現今所用者已有數種，第七、八、九、十各圖所表示者，即爲其敏化效能所能及之範圍。現在已知各種敏化劑在攝影靈敏度之範圍所能及者，約爲波長 $7,800 \text{ \AA}$ 至波長 $11,000 \text{ \AA}$ 之射線。

從事攝影者，如覺市上所售之各種紅外線感光片均不合用，可按其所需要之情形，親自從事調製。依後述之兩種操作法，擇其適宜者用之。下頁中所述調製紅外線感光片之手續，及所用之藥品，甚爲詳盡。其主要之點，係將普通攝影所用之感光片浸於敏化染色劑之溶液中，但親自調製亦受有種種限制。第一紅外線光敏化劑市上所出售者僅有數種，就現在之情形而言，最爲適用者，似僅爲克利模托西甯 (kryptocyanine) 及紐俄西甯 (neocyanine) 二種。(rubrocyanine 卽 kryptocyanine; allocyanine 卽 neocyanine，均係同一染色劑，僅名詞不同耳)。第二用上述染色劑由浸漬之方法所製之感光片，其靈敏度並不甚大。

因有上述之限制，故調製紅外線感光片有種種困難，經實際從事於此種研究之人，設法補救各缺點，各種紅外線感光片

始克完成。故現在市上所售之紅外線感光片，已有多種。其所能感之射線占光譜中 $6,500\text{\AA}$ 與 $12,000\text{\AA}$ 之全部。此乃經長期間之研究，由各種可感紅外線物質選擇之所得結果。

可感紅外線之感光片 在 1933 年市上所售著名之紅外線感光片及紅端線感光片，共計約有十數種。近二三年，種數更多，茲擇其著名者之名稱，及其能感射線之範圍列於下頁。市上所售各種紅外線感光片與紅端線感光片，不但敏化之性質不同，其所能感射線之範圍及感光之速度亦各不相同。應用時可依其攝影之目的，於其中選擇其適當者用之。

紅外線感光片之渲染法 能使普通感光片敏化為紅外射線感光片，可用之染色劑溶液種類甚多。以下所舉之兩種染色劑，係疊經試驗，結果最佳者。感光片雖經此種染色劑浸漬，膜片上亦不致有陰翳發生。

克利樸托西甯(Kryptocyanine)染色劑

克利樸托西甯係 1929 年 Elliot A. Adames 與 H. L. Holler 兩氏合成之感光片染色劑，其處理方法先將此種染色劑一克溶於 10,000 c.c. 之甲醇中，再依下述方法製成溶液。

克利樸托西甯	10,000 倍甲醇溶液	1 c.c.
酒精		165 c.c.

蒸餾水

500 c.c.

將普通感光片浸漬於上述溶液中三分鐘，取出置於通風裝置中急速乾燥之，則成爲紅外線感光片。用此種方法製成之紅外線感光片，所能感光之範圍，爲波長 $7,000\text{\AA}$ 至波長 $8,000\text{\AA}$ 之射線。其靈敏度之最高處爲波長 $7,500\text{\AA}$ 之射線。有時雖亦可用濃度大於十倍上述之溶液製成紅外線感光片，但常有發生陰翳之弊。

紐俄西甯(Neocyanine)染色劑

紐俄西甯染色劑，係1925年 N. L. Dundon, A. L. Schoen 及 R. N. Briggs 諸氏所合成，爲具有最大感光性之增感素。其處理方法將此種紐俄西甯一克溶於 $10,000\text{ c.c.}$ 之甲醇中，再依下述方法製成溶液。

紐俄西甯 10,000 倍甲醇溶液 6 c.c.

酒精 165 c.c.

蒸餾水 500 c.c.

將普通感光片浸漬於上述溶液中二分鐘以至三分鐘，取出置於通風裝置中急速乾燥之，則成爲紅外線感光片。其靈敏度極大，能感波長 $8,300\text{\AA}$ 之射線，若更用氨水增感之，則能感受波長 $10,000\text{\AA}$ 之射線。

增感所用各種染色劑之溶液，最宜於應用時配製，若預先調製則須謹藏，不能見光。但一星期後，亦失其效能。

從事此種研究者可購一磁盆，專供染色增感之用，浸漬時須將感光片全部浸於溶液中，且將磁盆搖動不停，達一定之時間後，取出用電風扇急速吹晾乾之。

各種紅外線感光片 以下所述者，為市上所售之各種紅外線感光片，係 1935 年二月所調查。除特別註明者外，對於普通之藍色光，均有敏感性。

矮克發快性 710 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate rapid, 710)。此種感光片感光之範圍為波長 $6,000\text{\AA}$ 至 $7,800\text{\AA}$ 之射線感光，最高點在波長 $8,100\text{\AA}$ 射線之處。

矮克發硬性 710 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate hard, 710)。此種紅外線感光片之感光範圍及感光最高點與上述一種相同。惟銀粒子極細，陰陽反差極強，可供各種普通紅外線攝影之用，而用於分光鏡，顯微鏡，天文學等科學攝影，更便於強光放大。

矮克發硬性 760 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate hard, 760) 感光範圍為波長 $6,200\text{\AA}$ 至 $8,500\text{\AA}$ 之射線，感光最高點在波長 $7,600\text{\AA}$ 射線之處。

矮克發快性 810 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate rapid, 810) 感光範圍爲波長 $6,500\text{\AA}$ 至 $8,500\text{\AA}$ 之射線，感光最高點爲波長 $8,100\text{\AA}$ 射線之處。

矮克發硬性 810 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate hard, 810) 感光範圍及感光最高點與上一種相同。

矮克發硬性 855 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate hard, 855) 感光範圍爲波長 $6,700\text{\AA}$ 至 $9,300\text{\AA}$ 之射線，感光最高點爲波長 $8,550\text{\AA}$ 射線之處

矮克發快性 950 度紅外線感光片 (Agfa infra-red plate rapid, 950)。此種紅外線感光片，感光之最高點爲波長 $9,500\text{\AA}$ 之射線，但其所能感之範圍可及波長 $11,000\text{\AA}$ 之射線。在 1934 年十一月，在歐洲始有此種紅外線感光片問世。惟無製成者發售，購者須預定。因此種感光片上之乳膠，極不安定，易於溶解。雖藏於冷處，亦僅能保持四五星期，過期即不合用。

矮克發紅外線感光軟片 (Agfa Kleinbild R-film)。此種感光片之性質，與該公司出品快性 710 度紅外線感光片相同，爲標準電影片。

克利樸托紅外線感光片 (Crypta infra-red plate) 感光範圍爲波長 $6,700\text{\AA}$ 至 $8,000\text{\AA}$ 之射線，感光最高點爲 $7,500\text{\AA}$ 。

此種紅外線感光片對於藍色光線之敏感性，雖不甚高，但對於綠色光線亦能感受。

依爾福正常紅外線感光片(Iford infra-red plate, normal type)感光範圍為波長 $6,500\text{\AA}$ 至 $8,500\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為波長 $8,100\text{\AA}$ 射線處。陰陽反差適中，曝光時間可以較短，適於各種普通紅外線攝影之用。

依爾福紅外線感光片，(Iford process infra-red plate) 性質與上一種相同，但陰陽反差較大。

伊爾福廣汎性光譜感光片(Iford long-range spectrum plate)為一種反差不感性光片，除能感受光譜中各色光之射線與汎色感光片相同外，並能感波長 $6,500\text{\AA}$ 至 $8,500\text{\AA}$ 間之射線。

依爾福紅外線感光軟片 (Iford infra-red film)，性質與依爾福正常紅外線感光片相同，係一種軟片捲。故適於攝製電影片及航空攝影之用。

柯達公司所出品之紅外線感光片，依其乳膠之性質不同，可分為三類。再依其對於紅端射線與紅外射線之敏感度，可分為七種。

乳膠之分類：

I類 此類中之各種感光片之乳膠，雖其所能感射線範圍

不同，但陰陽反差中庸，感光為甚迅速，且銀鹽粒大小亦適中。

III 類 此類中各種感光片上乳膠之銀鹽粒較細，而陽陰反差亦較強，但感光速度則較遲鈍。

IV 類 此類中各種感光片上乳膠之銀鹽粒極細，陰陽反差更強，但感光速度則極遲鈍。

以上三類感光片所用之乳膠，因其敏感度不同，每類中有下述之七種：——

U 種、感光之範圍為波長 $6,600\text{\AA}$ 至 $7,400\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為在波長 $7,100\text{\AA}$ 射線之處。

L 種、能感光譜中波長 $8,500\text{\AA}$ 以下各種波長之射線。

N 種、感光之範圍為波長 $6,600\text{\AA}$ 至 $7,400\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為在波長 $7,400\text{\AA}$ 與 $8,000\text{\AA}$ 射線之附近。

K 種、感光之範圍為波長 $6,700\text{\AA}$ 至 $7,800\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為在波長 $7,500\text{\AA}$ 射線之附近。

R 種、感光之範圍為波長 $6,800\text{\AA}$ 至 $8,600\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為在波長 $8,000\text{\AA}$ ，適用於波長 $8,600\text{\AA}$ 以內紅外線之攝影，所得成績較優於 N 種。

P 種、感光之範圍為波長 $7,400\text{\AA}$ 至 $9,600\text{\AA}$ 之射線，感光最高點為在波長 $8,500\text{\AA}$ 射線之處。

Q 種、感光之範圍爲波長 $8,000\text{\AA}$ 至 $11,000\text{\AA}$ 之射線，感光最高點爲在波長 $9,200\text{\AA}$ 與 $9,800\text{\AA}$ 射線之間，此種紅外線感光片均須在臨用之前，以增感劑增感。

以上各種紅外線感光片大多數均能適於分光學攝影，但用於普通紅外線攝影則以 I 類 R 種紅外線感光片爲最相宜。

除以上所列各種之外，柯達公司出品之汎感光片中有 Eastman Panchromatic K Motion Picture negative film 及 Eastman Panchromatic K film 兩種軟片，係專供紅外線攝影之用者。

美國 Dupont Nemours 公司發售之紅外線感光片，如 Dupont Infra D film 亦係一種軟片，其感光範圍爲波長 $6,700\text{\AA}$ 至 $8,000\text{\AA}$ 之射線，感光最高點約在波長 $7,600\text{\AA}$ 處附近。

以上所述者均係市上發售之普通紅外線感光片，至於專供某種特殊用途之紅外線感光片，則須向各製造照相材料之公司定購。

第三章 紅外線感光片之處理

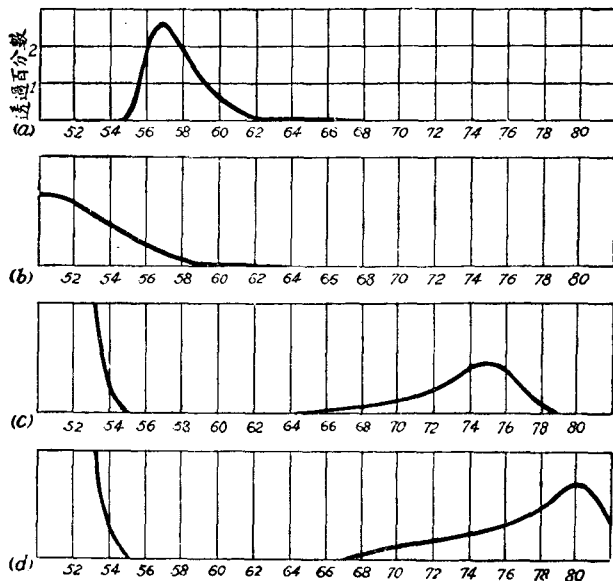
暗室 攝影之工作，最重要而必需之設備為暗室 (dark room)，在暗室中之照度 (illumination)，對於各種攝影材料須絕對安全，不致有感光之虞。據一般從事於攝影者之經驗，謂紅外線感光片折開及操作時，均須在完全黑暗，毫不漏光之處，或在用於汎色感光片之極微暗綠光中行之。由以前所述，可知各種有敏感效應之紅外線感光片，除克利撲托 (Crypta) 感光片之外，對於光譜中波長 $5,400\text{\AA}$ 至 $6,500\text{\AA}$ 間之射線，均有極高之靈敏度。吾人既明瞭此種事實，即可知紅外線感光片製作之暗室中，不能有上述波長射線範圍內之光，始能認為安全。所幸者，則上述波長範圍內綠黃色光線，在視覺上為最明亮之光，甚易為吾人之目力所區別。

更有須注意者，即普通攝影所用各種黃綠色之安全遮光屏 (screen)，對於紅外線感光片均不能認為安全。現今所用之各種遮光屏，均係用有色之膠質，塗於玻璃上所製成，用以保護感光片，使其不致感光。黃色，黃綠色，及橙色之遮光屏，可

用於各種普通攝影之感光片。正色感光片 (orthochromatic plate) 則須用紅色之遮光屏，汎色感光片 (panchromatic plate) 則須用暗綠色之遮光屏。多種染色質用於遮光屏上，均易為紅外射線所穿透。甚至極暗之綠色遮光屏，對矮克發 810 度紅外線感光片 (Agfa 810)，伊爾福紅外射線感光片 (the Ilford Infra-red)，伊斯萌 P. O. R. 紅外線感光片 (Eastman type P. Q. and R.) 亦不能認為絕對安全。因極暗之綠色遮光屏，雖肉眼可見之光透過之程度甚低，實際上紅外射線仍甚易透過也。但用於普通攝影感光片之黃色遮光屏或黃綠色遮光屏與能吸收紅外射線之藍色玻璃所合成之遮光屏，用於紅外線之感光片上，則為較安全之遮光屏。現今市上所售之各種紅外線感光片，用此種遮光屏，均不致有感光之虞。第十一圖之圖解所示者，乃伊爾福公司 (Ilford Company) 所售普通紅外線感光片之遮光屏，光線所能透過之曲線。由此種圖解亦可知各種紅外線感光片，所能感光之區域。遮光屏之照度須極低，始不致為光線所射透。因雖極少量之光，亦能使感光片發生雲霧狀之光暈。矮克發第 114 號暗室濾光器 (Agfa darkroom filter No. 114) 在 Osglim 式之氖燈 (neon lamp) 及閃光燈 (flash-lamp) 中，對於各種紅外射線感光片，除能感綠色光

與橙色光者外，均能合用。

克利樸托(Crypta)感光片能感某量之綠色光，故操作時須在無任何光線之暗室中。



第 十 一 圖

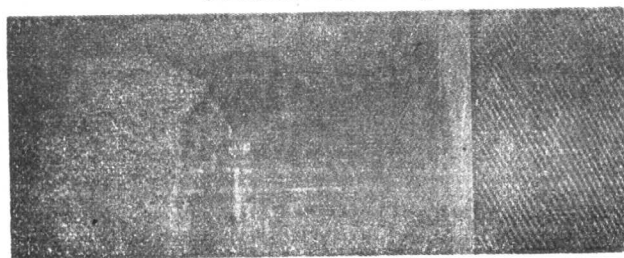
- a. 用於紅外線感光片上伊爾福遮光屏能透過之射線
- b. 在攝影暗室中人目之敏感性
- c. 標準紅端線感光片之敏感性
- d. 標準紅外線感光片之敏感性

紅外線感光片之包裝 紅外線感光片製成後，均用黑紙包裹置於盒內，在市上出售。須絕對嚴密，始不致為紅外射線及他種光線所透過。在應用時如仍有剩餘之感光片存於盒內

亦須謹慎用黑紙包裹嚴密置於盒內。因紅外射線具有特殊穿透力，有若干種物質通常肉眼可見之光線不能透過，均能為紅外射線所穿透也。



(a) 在感光片上所留之頁影



(b) 在感光片上所留暗匣內壁之影像



(c) 在感光片上所留暗匣外壁之影像

第十二圖

紅外線感光片置於木質暗匣中所得之結果，係將紅外線感光片裝於木質暗匣中在50支燭光有氣體鎢絲電燈之下，距離一英尺，經一分鐘內感光片所受之影響。

暗匣(dark slides)及鏡箱(cameras) 木質中有比較能為紅外射線所穿透者，如桃花心木即為能受紅外射線所透之一種。第十二圖中(a)(b)(c)三圖所表示者，即用通常桃花心木製造之暗匣，裝置紅外線感光片所受之不良影響。此種暗匣之壁厚約十六分之三英寸，內裝紅外線感光片，曾在距五百支燭光含氣體燈一尺之處，歷一分鐘。然在顯影之時，由燈光所感之光，則在紅外線感光片上成一負影，如第十二圖中(a)。除製造暗匣之材料能為紅外射線所穿透外，尤須注意暗匣是否有裂隙。雖有極微之罅隙，亦足使感光片上呈朦朧不清之陰翳，第十二圖(b)，即係暗匣有罅隙而漏光，在能感紅色射線之汎色感光片上所留暗匣內壁之影像。因暗匣內壁之木質上有黑色塗劑，故在感光片上留有雲霧狀之陰翳。第十二圖(c)乃木質為紅外射線所穿透，將暗匣外壁現象顯於感光片上之情形，為黍粒狀痕跡之負影，亦有為呈梳齒狀之陰翳者。

由以上所述之情形觀之，木質暗匣乃不適於紅外線感光片攝影之用。在必須用木質暗匣之時，亦應注意其內壁所用黑色塗劑是否完善。且須詳細檢驗，務使絕對嚴密不致有絲毫罅隙。用油煙為塗劑填塞罅隙最為適當，因油煙為碳質，紅外射線光不能透過也。設用此種方法仍不能認為適當，可用通常包

韌軟片之黑紙，襯於暗匣之內，亦為妥善之辦法。

其次所應注意者，則為鏡箱，攝影鏡箱最易為紅外射線所穿透之部份為壁囊(bellow)與快門(shutter)。皮革之本身雖易為紅外射線所透過，然用黑色之物質塗之，則不致為紅外射線所穿透。但用普通黑色塗料，亦不能認為適當，若用黑色之纖維織品裱貼於鏡箱壁囊上，則較為完善，可不致漏光。鏡頭之快門，普通以用硬橡薄片製成者為占多數，此種物質紅外射線並非完全不能透過，亦常有因此而發生困難者。

紅外線軟片卷(infra-red roll film)用於鏡箱中，有時最易使感光膜上發生陰翳，若在曝光之前置於暗匣中，僅經極短之時間，或可免除此種困難，但無論如何用軟片之鏡箱攝取紅外射線影片，鮮能有完善之結果。必須事先詳細檢驗壁囊快門及鏡箱全部，是否嚴密。萬不可貿然即將有價值之感光片裝入，致受意外之損失。鏡箱後方之小紅窗，常能有紅光由軟片卷之邊際侵入，亦為能引起有漏光危險之一原因。伊爾福軟片卷另有一紙條黏貼於軟片卷上，其地位適在鏡箱上小紅窗之處，可以遮蔽由此侵入之光線。來卡鏡箱(Leica Camera)所用者為焦點平面快門(focal plome shutter)，係一種有韌性物質所製成。據一般用者所云，為對於紅外射線不透光者。由

金屬所製之焦點平面快門，如 Contax 鏡箱所用者，亦不致有漏光之危險。

製造紅外線攝影所用之暗匣及快門之材料，當以金屬為最適宜。

茲為研究便利起見，將光之射線比較能穿透之各種木質，列表如下，以備從事紅外線攝影者之參考。

名 稱	曝光情形	因感光所生之影響	對於紅外線
西比利亞松(Siberian pine)	在五百支燭光有氣體電燈下距離六尺曝光一秒鐘	甚顯著	能完全透過
針葉松(yellow deal)		甚顯著	
楓(sycamore)		略有影響	
黃楊木(box wood)		略有影響	
樺木(beech)		影響極微	
黃松(yellow pine)	距離六尺曝光五秒鐘	甚顯著	略能透過
塔司馬利亞櫟(Fasmanian oak)		甚顯著	
印度麻栗(Indian teak)	距離六尺曝光四百秒鐘	甚顯著	略能透過
渾杜刺斯桃花心木(Honduras mahogany)		略有影響	
澳洲椴皮樹(Jarrah)		略有影響	
英國櫟(English oak)	距離二尺曝光二千秒鐘	影響甚微	幾不能透過
澳洲胡桃木(Australian walnut)		影響甚微	
非洲胡桃木(African walnut)		影響甚微	
美洲胡桃木(American walnut)		影響甚微	
印度銀灰木(Indian silver-grey wood)	距離二尺曝光二千秒鐘	無影響	不能透過
伊若柯麻栗(Irokoteak)		無影響	
烏木(ebony)		無影響	

上表試驗所用之木材均厚三毫米

烏木雖不能爲紅外射線透過，若僅厚一毫米亦不能認爲安全。賽璐珞(celuloid)及膠木(bakelite)，若非經特製者，亦易爲紅外射線所能透過。紅橡皮膠纖維(red vulcanized fibre)所製之片厚達二毫米，亦爲紅外線所不能透過云。

用紅外線攝影，對於是否漏光一層，固應詳密考察。但並非一最困難之點，甚易設法補救也。如包纏感光片之黑紙，對於紅外線攝影甚爲有用。即普通攝照之鏡箱，雖不足供紅外線攝影之用，用此種黑紙裱之，亦可勉強應用。

顯影(development) 紅外線感光片無論爲乾片或膠片，顯影手續與普通方法均屬相同，尙無若何困難。其中有數種如克利僕托(Crypta)紅外線感光片，則需用特殊之顯影劑(developers)。各該發售之公司，對於此種顯影溶液之配合，均有詳細說明，故在此間可勿庸再述。惟有一點爲必須注意者，乃紅外線感光片在定影之前，不宜見任何種光。紅色光固不待言，即普通所謂安全暗綠色光，亦以不見爲妥。宜在完全黑暗中，用一定溫度之顯影溶液，以一定之時間顯影。此種手續稍經練習，毫無不便。否則須在攝影前用減感液(desensitizer)將感光度減弱後，再在安全之暗綠色光下顯影。紅外線感光片上乳膠多不堅硬，故在定影前當浸於固膜水中，或用硬膜定影水定

影。且攝影後之感光片宜立即顯影，不可久留。

紅外線感光片增感法(hypersensitizing) 一般紅外線感光片之感光，均較普通攝影之感光片遲鈍，不能作高速度攝影，但航空攝影，望遠攝影，尤非速攝不可。故常用增感法(hypersensitizing) 以補救之。係將紅外線感光片浸於適當藥劑之溶液中，使其對於感光之靈敏度增大。用此種方法最大限度，可使紅外線之靈敏度增速四五倍。或謂增感後感光片不易保存，市上之紅外線感光片，均不先施增感法，提高靈敏度，使其便於販賣。但處置適宜，亦能保留至相當時間，如用 triethanolamine 增感，雖經相當時間，亦不致使感光片上之乳膠受不良影響。

感光片增感法係化學上之研究，加洛爾 (B. H. Carroll) 及哈巴德 (D. Hubbard) 曾在 Research Paper No.525 及 Bureau of Standard Journal of Research, 1933, 10, 211-228 上發表一文，討論甚詳，茲摘錄如下：——

通常紅外線感光片感光遲鈍，既有種種不便，故用於攝影時，必須先行增感。在通常情形中，約可增速靈敏度三倍。最普通之增感法，為用弱鹼類溶液浸漬。但近來所用之最新方法，係用淨水增感法，所得結果亦極圓滿。茲述各種增感法於

下：——

1. 鹼性碳酸鈉與氨水增感法(係矮克發指定之增感法)

增感液配合量

碳酸鈉(純粹結晶)	80 克
氨水 (比重 0.880)	80 立方厘米
蒸餾水	1,000 立方厘米

依上述方法將增感液配合，用瓶貯之。用時按增感感光片之多寡，取適當之量，加二十倍以至四十倍之蒸餾水稀釋之。但溫度不能超過攝氏 12 度(約合華氏 54 度)。

感光片增感須在暗室中之行，將感光片先浸漬於增感稀釋液中，歷五分鐘取出。無須洗滌，立即再浸於酒精中五分鐘，取出急速乾燥之。用電扇吹乾，固極方便。但電動機有時易發生火花，能使感光片感光，不可不設法避免。雖有多種感光片可用蒸氣乾燥器乾燥之，但用於矮克發快性 950 度紅外線感光片，則不相宜。

2. 淨水增感法(此種增感法亦係矮克發所指定者) 將紅外線感光片於暗室中，用溫度在攝氏 15 度(華氏 59 度)以下之流水中徐緩沖洗五分鐘，再浸於清潔之酒精中三分鐘取出，如上述之方法急速乾燥之，此種增感法最適於大宗紅外線感

光片之增感。矮克發快性乳膠 (rapid emulsion) 所製之感光片, 如此增感, 最為相宜。其效力能保存一星期, 如效力消失, 仍可施行第二次增感。

3. triethanolamine增感法 取 triethanolamine 一份, 用 1,000 倍蒸餾水稀釋之, 將紅外線感光片浸漬於此種增感液, 約歷二分鐘至三分鐘取出, 急速乾燥之,

第四章 紅外線攝影之方法

定鏡頭焦點 以前攝影所用者，為不能感色差之普通感光片。依人之視域為標準定鏡頭之焦點，即可攝得明晰之影像。因如此校正鏡頭焦點，能使各種長短不一，屈折率各殊之可見光線結像映在同一平面上。在人之視域內最明晰之點，亦即感光片中最明晰之點，二者毫無區別。自有汎色感光乾片及膠片發明以後，其目的係使感光片所能感之範圍，極與人目之視域相近似。故關於鏡頭焦點之校正，則與普通攝影不同。雖在靜物攝影中，用普通感光片與用汎色感光片，相差之點甚微。通常所用鏡頭，亦可用於汎色感光片之攝影。但在活動電影照相時，欲使其與實際之情形畢肖，用汎色感光膠片，則須有特別校正之鏡頭，始能得有良善之結果。

用汎色感光片照像，必須用特校別正鏡頭，已如上述。而用於紅外線感光片之鏡頭，則尤須有正確之焦點。故用於汎色性感光片或普通感光片之鏡頭，其焦點雖已校正，尚不能認為滿足。必須於攝影時，調節鏡頭之焦點，使其準確適合於紅外

線之性質。其最簡單方法，係利用鏡箱之襞囊，調節目的物之焦點，使其在毛玻璃上所顯之影明晰。後用於紅外線感光片攝影時，因紅外線光波較長於可視光線，故須於鏡頭與感光片之間，再增加焦點距之長 $\frac{1}{200}$ 。則在此種情形中，雖不能如特殊校正鏡頭之準確，但所顯之影亦可明晰。惟用小鏡箱時，其鏡頭之焦點距甚短，相差極微，則可無須調節耳。但就實際上所得之經驗而言，近來曾有用普通鏡頭依視域之焦點，用紅外線攝取風景，得有良好成績者，亦數見不鮮；其鏡頭所用之光圈為 f. 11 或 f. 11 以下。欲求紅外線中之攝影正確明晰，用較大之鏡箱，則其對準焦點須平素操作具有經驗，知鏡頭，感光片與目的物三者間之適當距離始能得正確之焦點。因紅外射線為非目力所能見之射線，其所需之焦點，與目力所能見射線之焦點不同，故須由實地試驗所得之經驗，始能得之。飛機攝影係升入高空攝中取遠距離之景物，其焦點之地位，更須積經驗始能獲得。雖有謂紅外射線攝影之焦點，可用紅三色濾光器 (tri-colour red filter) 藉人之目光測定。但由此所得之焦點，祇能認為近於紅外線之焦點，仍不能謂之紅外線正確之焦點。因發光本領 (luminosity) 愈低，尋求正確之焦點愈困難也。

總而言之，用紅外線攝取遠景，宜用短焦點透鏡 (short

focus lense)之鏡箱，且用小光圈；則雖用普通攝影之對焦點法，亦可得有相當結果。用長焦點透鏡或用大光圈，則須憑實驗所得之經驗，始能求得正確之焦點。

欲求紅外線攝影有完善之結果，須有特殊設計所製適用於紅外線之鏡頭，最近 Taylor & Holson 公司曾有各種適用於紅外線攝影之鏡頭出售。在此種鏡頭上視覺焦點 (visual focus) 與紅外線焦點 (infra red focus) 均已測定，且紅外線焦點與視覺焦點一致，故用時甚為便利，不致有任何困難。更有一種測定紅外線之鏡頭，用時先對準視覺焦點，再按其比例變更之，即得紅外線之焦點。

其他透鏡上之視覺焦點，與紅外線焦點已測定而一致者，則有 The Ross f.4 express 鏡頭，能適用於任何靈敏度感光片之攝影，此種測定紅外線焦點之鏡頭，市上已有多種發售，故從事於此種攝影者感覺不少便利。

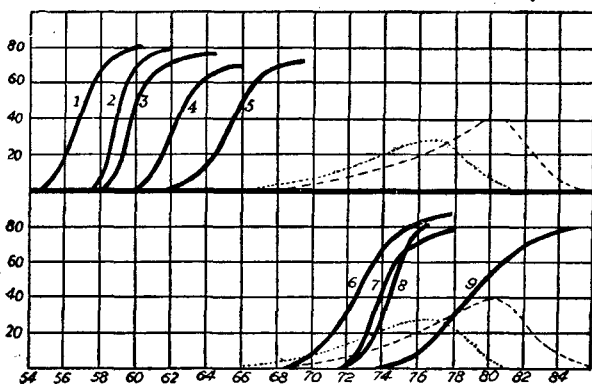
紅外線攝影之濾光器 (filter) 攝影上所用對於紅外射線有敏感性之物質，同時對於 $7,600\text{\AA}$ 以下之藍，紫，及紫外等射線，亦有敏感性 (參閱第 7 圖至第十圖)。且此種物質對於短波射線如藍，紫，及紫外等射線之靈敏度 (sensitivity)，較對於長波紅外射線之靈敏度尤大。利用紅外線攝取遠景，或其他目

的物，在紅外線感光片曝光時，藍，紫及紫外等射線同時亦被收入鏡箱中，則其結果在紅外線感光片上所顯之負影，與普通不感紅外射線之普通感光片所顯之影無異。對藍，紫等色之射線靈敏度，既較紅外射線大，則在短時間曝光中，即能得良好之結果。但紅外線則不然，須經較長時間之曝光，在此種情形中，若增加曝光之時間，達到所需要之程度，則感光片同時對於藍，紫等射線曝光過度，所呈之負影蒙其損壞，反不若普通攝影之明晰。

欲避免上述之困難，在紅外線攝影時，須用濾光器以隔絕紫外，紫及藍等光之射線，使其不能達於感光片上。因紅外線攝影所用之感光片，亦能感受綠，橙，紅等光之射線，故所用之濾光器，須能隔絕紅外射線波長以下各種光之射線，使其僅有紅外射線對於感光片發生作用，始能得良好之結果。

紅外線攝影所用之濾光器，為有色玻璃或染色膠膜(dyed gelatin film)所製成，由染色膠膜所製成者，係將膠膜夾於二玻璃片之間。二者均能吸收光譜中某一部份之射線，而使所需要之他一部份射線能自由透過，故其主要之性質相同。惟選用何種濾光器始能適合於所用之紅外線感光片，則應明瞭濾光器吸收射線之性質，及感光片靈敏度之範圍。第十三圖所示者

爲市售各種濾光器，遮斷各種波長射線之大概情形。在圖中上下二部之虛線，係表明本書中所研究市上發售紅端線感光片與紅外線感光片靈敏度之曲線。紅端線感光片靈敏度之最高



第十三圖 各種濾光器透過光線之曲線

1. 伊爾福五號濾光器(橙色)(Ilford micro 5 filter)淡紅光濾光器
2. 伊爾福紅三色濾光器(Ilford tri-colour red filter)
3. 瓦頓紅三色濾光器(Wratten tri-colour red filter)
4. 瓦頓 F 號濾光器(Wratten F filter)
5. 伊爾福光譜濾光器(Ilford spectrum red filter)
6. 瓦頓 88 號濾光器(Wratten no. 88 filter)
7. 瓦頓 88a 號濾光器(Wratten no. 88A filter)
8. 伊爾福紅外線濾光器(Ilford infra-red filter)
9. 瓦頓 87 號濾光器(Wratten no. 87 filter)

紅光濾光器

紅外線濾光器

圖中點狀虛線係表示紅端線感光片之靈敏度之曲線，其他一虛線係表示紅外線感光片之靈敏度之曲線。

點，約在波長 $7,300\text{\AA}$ 與波長 $7,600\text{\AA}$ 之間，紅外線感光片靈敏度之最高點，約在波長 $8,000\text{\AA}$ 之附近。在第十二圖中1,2,3,4,5各曲線所表示之濾光器，其本身為橙色及紅色，不能完全遮斷各種可見之光波。圖中下部6,7,8,9各曲線係表示紅外線攝影所用濾光器遮斷各種短波光之情形。

上圖中1,2,3,4,5,6,7,8,9各曲線，並表示各種波長之光波能透過各種濾光器之百分數。如曲線1所表示者為伊爾福五號濾光器 (Ilford micro 5 filter) 遮斷光線及光線透過之情形，由此可知用此種濾光器波長 $5,500\text{\AA}$ 之射線能通過者極少。波長 $5,600\text{\AA}$ 之射線能透過者，約占百分之二十。波長 $6,000\text{\AA}$ 之射線能透過者，約占百分之八十。在光譜中最易透過部份之光波，經過任何種類之濾光器亦必失去其一部份，不能完全透過。其原因係由於濾光器兩面之反射作用 (reflection) 及所謂普遍吸收 (general absorption) 所致。無論用何種濾光器，光譜中任何部份之光線射入，能透過之量，在百分之八十五以上者則甚鮮。

由第十二圖中下側表示波長之數字，可知1,2,3,4,5五種濾光器所能遮斷之光波為藍光射線與藍綠光射線，其他比藍色光波與藍綠色光波較長之射線，均能自由通過，而使感光

片感光。在他一方面，則 6,7,8,9, 各種濾光器所遮斷之範圍更大，凡普通視覺所能感之射線如紫，藍，藍綠，綠，黃綠，黃，橙，紅等光之射線，均被其遮斷。且有時紅端射線亦不能通過此種濾光器。故紅外線攝影所用之濾光器只適用於紅外線感光片，若用於紅端線感光片，有時亦不相宜。紅外線攝影所用之濾光器全為紅色或暗紅色。暗紅色者如矮克發之 84 號紅外線濾光器，85 號紅外線濾光器，及瓦頓 (Wratten) 之 88A 號紅外線濾光器，及 87 號濾光器，肉眼視之殆為黑色。故又稱遮斷各短波光線，專能透過紅外線之濾光器為黑濾光器 (black filter)。

紅外線攝影所用之感光片種類雖多，但大多數皆嫌感光遲鈍。且攝影時最常見之缺點，為曝光不足 (under-exposure)，若再用極深之黑濾光器，則更須有長時間之曝光，始能顯其紅外線攝影之特性。按紅外線感光片對於有色光線之感受性，在紅外線與短波光之間有一部份為鈍感處。若依其範圍之所在，雖選用較淺之濾光器，祇須能遮斷較短之光波者，曝光時間既可縮短，結果亦甚圓滿。故非在特別需要時，不必用極深之遮光器。普通感光最高點在 $7,300\text{\AA}$ 附近之紅外線感光片攝影，用矮克發 42 號之濾光器或瓦頓 F 號之濾光器；感光最高點在 $8,000\text{\AA}$ 以上之紅外線感光片，用矮克發 83 號或瓦頓 R 號之

濾光器即能充分獲得良好之結果，不必選用黑濾光器也。由以上所述可知各種濾光器性質不同，與曝光時間亦有關係，下表所列者為三種性質不同濾光器，與二種性質不同感光片曝光時間之因數 (factor)。由此可知濾光鏡與感光片曝光時間上關係之重要。

濾 光 器	矮克發快性710度膠片	伊爾福紅外線感光片
伊爾福五號濾光器 Ilford micro 5 filter	1	1
伊爾福紅三色濾光器 Ilford tri-colour red filter	1	1
伊爾福紅外線濾光器 Ilford infra-red filter	4.5	1.2

由上表可知用伊爾福紅外線濾光器 (Ilford infra-red filter)對於紅端線感光片如矮克發快性 710 度膠片 (Agfa 710 R film)則曝光時間須增加甚長。在另一方面，用真正紅外線感光片攝影，如伊爾福紅外線感光片 (Ilford infra-red plate) 或瓦頓 88A 感光片 (Wratten No. 88A plate)雖亦須增加曝光時間，但須增加者，不致如用紅端線感光片所需增加曝光時間之多。

紅外線攝影固須用濾光器，然亦須顧慮鏡頭上透鏡之顯映度 (definition) 使所結之像清晰。因遠方射來之光線，經透

鏡一度收斂，再通過濾光器，其光路與無濾光鏡之情形迥然不同。故用濾光器時，對於此點應得注意。

前述濾光器有二種，一種為特種化合物鑄於玻璃中所製成，一種為色素溶於膠質所製成，其作用均為吸收遮斷波長 $7,600\text{\AA}$ 以下之短波光。玻璃質者製造較難，價亦昂貴。膠質者易製，價值低廉，亦比較適用。且用以夾於兩片玻璃之間，即與玻璃質者相似。故一般從事攝影者，多樂用之。惟夾於膠膜兩面之玻璃，因性質不同，在應用上亦有甚大之差別。茲述之如下：——

1. 若黏於膠膜之兩面者，為普通玻璃，則此種濾光器僅能用於短焦點距透鏡(short-focus lenses)或小鏡箱之攝影，而不適用於長焦點距透鏡(long-focus lenses)及長距離透鏡(telephoto lenses)之攝影。

2. 若黏於膠膜之兩面者為曾經選擇，磨光之平面玻璃，則適用於各高等攝影器，長焦點距，及遠距離攝影之透鏡。除必需極正確精密之攝影外，均可用此種濾光器。

3. 若黏於膠膜之兩面者為光學平面玻璃(Optically flat glasses)，則適用於各種精密攝影之機械，如天文攝影，航空攝影，及顯微鏡攝影。

就實用方面而言，第二種濾光器最適於一般紅外線攝影之用。第三種用光學平面玻璃之濾光器既比普通濾光器厚，且較遲鈍，價亦昂貴，非必需時可以不用。

關於濾光器之用法約有三種：一、置於鏡頭之前；二、置於鏡頭之後；三、以未黏玻璃之濾光膠膜，置於鏡頭透鏡之間。因紅外線攝影所用之濾光器為深紅色或暗紅色，先將此種深色之濾光器置於鏡頭上，則無法校準焦點，必須先將焦點校準，然後始能加置濾光器。若用第三法置於透鏡之間，則每次攝影必須取出加入，不但手續麻煩，且鏡頭時常拆開，極易損壞。第二法置於鏡頭之後，遠方射來光線經鏡頭一度收斂後，再通濾光器光線之路徑，既有變遷，則焦點與未加濾光器時不同，非積有經驗者難得良好之結果。惟第一法置於鏡頭之前，遠方射來光線不起屈折。垂直通過濾光器，所結之像，亦不致發生變更。市上所售濾光鏡種類甚多，茲列表如下。

製造者	名稱及號數	能透過射線之波長	用 途
Agfa	紅濾光器 42	5900Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Agfa	紅濾光器 80	5950Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Agfa	紅濾光器 81	6000Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Agfa	紅濾光器 82	6100Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Agfa	紅外線濾光器83	7000Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Agfa	紅外線濾光器84	7400Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用

製造者	名稱及號數	能透過射線之波長	用途
Agfa	紅外線濾光器85	8400Å 以下遮斷	純紅外線攝影用
Agfa	紅外線濾光器87	8500Å 以下遮斷	純紅外線攝影用
Agfa	紅外線濾光器89	9200Å 以下遮斷	純紅外線攝影用
Kodak	Wratten A	5900Å 以下遮斷	紅端線攝影用
Kodak	Wratten F	6000Å 以下遮斷	紅端線攝影用
Kodak	Wratten 70	6400Å 以下遮斷	紅端線攝影用
Kodak	Wratten 87	7400Å 以下遮斷	紅外線攝影用
Kodak	Wratten 88	7600Å 以下遮斷	紅外線攝影用
Kodak	Wratten 88A	7200Å 以下遮斷	紅外線攝影用
Kodak	Wratten 89	6500Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Kodak	Wratten 89A	6800Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Kodak	Wratten 91	7000Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用
Iford	赤外線濾光器	7300Å 以下遮斷	紅端線紅外線攝影用

紅外線感光片之曝光 凡未增感之各種紅端線及紅外線感光片之靈敏度，均較普通攝影所用之感光片遲鈍。但所謂遲鈍者係指加用特殊之濾光器時，對於紅端線及赤外線之感光而言，而對於光波較短藍色射線之靈敏度，一般均甚敏銳。

各種紅外線感光片無論為乾片或膠片，其曝光時間常不印於包裝之紙或盒上。從事攝影者初用一種新紅外線感光片，必須親自實驗，置於鏡箱中曝光，以曾用過之感光片為標準，互相比較，始能知其曝光時間上之關係。既知一種感光片曝光之性質，則雖在光度不同之情形中，亦可據其經驗酌量增減。紅端線及紅外線感光片之曝光時間，既須以實地所得之經驗

爲主，故本書亦難有具體之說明。僅可謂紅外線攝影時，用深紅色之濾光器，在日光之下，其曝光時間，約在曝光係數 2 (H. & D. 2)* 與曝光係數 100 (H. & D. 100) 之間。例如用 1932 年式依爾福紅外線感光片 (Ilford infra-red plate) 在日光之下攝影，其曝光時間之係數爲 H. & D. 10。1934 年伊爾福紅外線感光片用濾光器在日光下攝影，其曝光係數爲 H. & D. 50。關於紅外線攝影之曝光時間，既不能有具體說明，茲舉從事此種攝影者操作之事實爲例，庶使讀者對紅外線感光之曝光時間有相當之概念。例如下述之一例係在十一月中日光下試驗之記載。

用一種伊爾福普通感光片其曝光係數爲 H. & D. 100，按依爾福表所載試驗之情形如下：

野外之遠景及白色之建築物——十一月之中午，用 f.8 鏡頭，曝光時期爲 $\frac{1}{8}$ 秒。

設在同一情形之下，用伊爾福紅外線感光片加紅外線濾

* H. & D. 爲研究光學 Hurter 與 Driffield 二人名之縮寫。感光片盒上常印有此種字，如 H. & D. 200，係指感光片之速度用 Hurter 與 Driffield 二氏感光表所測定之數字爲 200。但此係比較之數字，故曰係數，如 H. & D. 200 爲 H. & D. 100 之二倍而爲 H. & D. 400 之二分之一是也。

光器則須曝光 $1\frac{1}{4}$ 秒：此例紅外線攝影之曝光時間，較普通攝影之曝光時間，須增至十倍。

更有一例係 1933 年英國攝影雜誌年刊(British Journal of Photogrophy Almanac)377頁至 378頁所載，茲轉錄如下：

普通攝影用之軟片卷其曝光係數約在 H.&D. 300 與 H.&D. 500 之間，假定爲 H. & D.400，在下列之情形中曝光之時間如下：

距離不遠之目的物街景及戶外——五，六，七等月之中午，用 f.8 鏡頭，曝光時間 $\frac{1}{60}$ 秒。

野外之遠景，湖上，江面及海濱，長堤之風景——五，六，七等月之中午用 f.8 鏡頭，曝光時間 $\frac{1}{200}$ 秒。

依上述之情形，若時間爲十一月，在北緯 50 度之地方，據同書 378 頁，阿登姆遜氏表(Adamson's table)所載，則曝光時間應爲 $\frac{1}{20}$ 秒與 $\frac{1}{40}$ 秒。

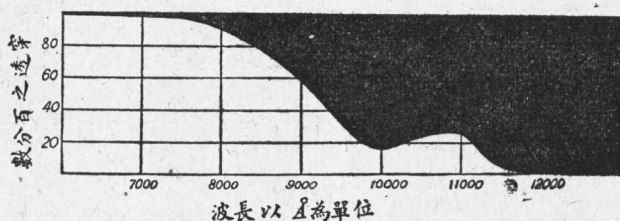
設在同一情形之下用紅外線感光片加濾光器攝影，其曝光所須之時間，應在 $\frac{40}{20}$ 與 $\frac{40}{40}$ 之間。概言之約爲 $1\frac{1}{2}$ 秒。

紅外線攝影曝光之時間，固應較普通攝影所需之時間長。此種時間上概數若係由實地經驗得來，則較爲可靠。因有時用 f.8 鏡頭，曝光時間僅 $\frac{1}{2}$ 秒，亦能有美滿之結果。

據多數從事於紅外線攝影者云，在多雲之日或陰天，用紅外線攝影之曝光時間，須按正常曝光之時間增加。此種情形驟觀之，似與紅外射線穿透煙霧能力較大於各種可見光線之說，不無矛盾。且在實際上有雲之日或陰天用紅外線感光片攝影，須增加曝光之時，始能得良好之照片。就可信賴之曝光表所載，普通攝影在多雲之日曝光之時間，須較晴明之日增加二倍。在陰天則須增加四倍，或四倍以上。若用紅外線感光片攝影，在多雲之日曝光時間須增加四倍，在陰天則須增加八倍或八倍以上。

欲明瞭上述情形之理由，最重要者須知天際之雲與空中煙霧之區別。觀以下所述，則可了然。在大氣中為煙霧所瀰漫之際，天空中之日為紅色，日光中紅外射線之減少，則不若各種可視光線之多。且霧與雲二者雖同為水氣瀰漫於空間所構成，但煙塵霧霾中之分子甚小為塵埃，煙灰，或極細之水氣所構成，而在空際較高處之雲，則係較大水氣，水點，或冰粒所構成。二者相較大小懸殊，此乃其性質上不同之點。攝影者既知此種情形，則可知用紅外線感光片攝影在有煙霧之時攝影，僅須略增曝光之時間，而在多雲或陰天所增之曝光時間則更須加多。

紅外線對於雲不能完全透過之原因，係由於較大之水點，對於紅外線之吸收作用亦較高，能吸光譜中波長 $8,000\text{\AA}$ 之紅外射線。對於波長更大之射線，則吸收亦愈甚。第十四圖所表示者，係水對於各種射線吸收之曲線。由此圖之曲線可知紅外線感光片(感光最高點約在波長 $7,300\text{\AA}$ 至 $7,600\text{\AA}$ 之感光片)，

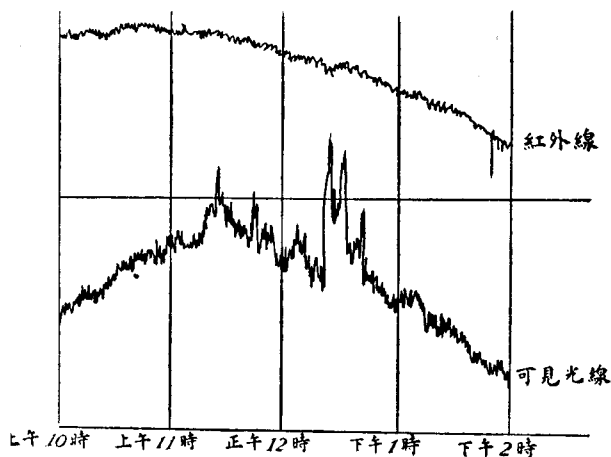


第十四圖 光線透過四厘米厚水層之曲線

受水分吸收作用之影響較小。其他在紅外線攝影曝光時所應注意者，則為戶外攝影照射於目的物上，非直接之日光，而為天空中所反射之光。因此種光中所含之紅外線極少，故亦須特長之曝光時間，始能有良好之結果。

多數攝影家常用各種露光計 (actinometer) 使感光片曝光時間格外正確。此種器械所用者多為銀化合物，曝露於光中則逐漸變為黑色。由其轉變為黑色之程度，可知光之光化能力 (actinic power)。但對於日光所含之紅外線，則無適當之露

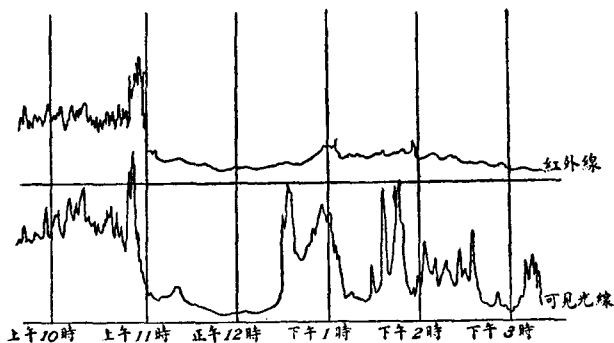
光計可用，雖有利用紅外射線對於磷光衰變率之加速度，製成紅外線露光計之企圖，但所得結果，亦不能認為滿意。其他方面則有新式電光管 (photo-electric cell)，對於攝影部份可利用之紅外射線甚為敏感。用之以測紅外線之感光，有相當之成效。第十五圖與第十六圖中所釋明者，即用新式電光管對於曝光所得之結果。二圖中上方之曲線，均表示日光中所含之紅外線，下方之曲線係表示目所能見之光線。第十五圖中之上下二曲線為冬日天氣清明時，在日光中曝光所得之記錄。在最初之



第十五圖 日光中所含可見光線與紅外線曲線圖
時期為冬季清明之日。在上午十一時三十分之前有霧。

上方為表示紅外線之曲線。
下方為表示可見光線之曲線。

時，略有霧氣，日光呈紅色。可見光線略受霧氣之抑制，而紅外線則能自由透過。迨紅日漸高，霧氣消失，可見光線乃增加。由此種表示紅外線之曲線，更可知紅外線不受烟霧之影響。第十六圖中之上下二曲線，為天氣時有變化之日，曝光所得之記錄。在十一點鐘時，天際之雲增厚，在十二點三十分時，雲雖較薄，然仍不能窺見日光。由此圖中表示紅外線之曲線與表示可見光線之曲線比較觀之，可知由厚雲變為薄雲之際，可見光線雖增加甚多，而紅外線之量並無多大變化也。



第十六圖 日光中所含可見光線與紅外線之曲線圖

時期為時晴時陰之日。在上午十一時有日光，且有片雲。自十一時至十二時三十分則雲漸濃厚，自此以後天際之雲雖時變化，但均為濃厚之雲。

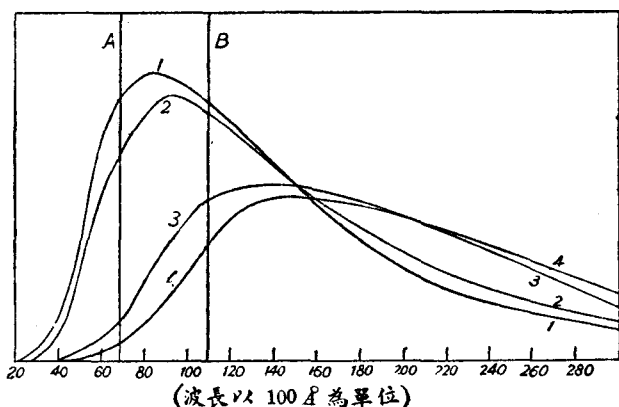
上方為表示紅外線之曲線。

下方為表示可見光線之曲線。

以上所述者，均係戶外紅外線攝影，利用空中自然存在紅外線之曝光。現更須研究用人為紅外線之曝光，亦係紅外線攝影中最重要而且有用之部份。

所謂人為光源之範圍甚廣，包括各種油燈，及各種白熱電燈如威爾斯拔克燈(Welsbach gas burner)，涅恩斯特輝光燈，(Nernst glower)，用碳絲(filaments of carbon)，鎢絲(filaments of tungsten)或其他物質之輝光燈(electric glow lamps)，弧光燈(arc lamp)，因上述各種為光源之燈，種類不同，與其所發光之量與性質，亦均有關係。各種燈所發生射線之量，可由人力酌量增減，有大量之發光能力，則能增加所需之光量，在此可無庸多所討論。研究各光源射線之性質，則為本書之任務。雖紅外線在人為光源下曝光，與所用之感光片及濾光器均有關係。但簡單論之，在其他情形相同時，光源對於紅外線感光片曝光之能力如何，視其射線中所含波長 7000\AA 至波長 11000\AA 之射線多寡為轉移。第十七圖所表示者，係各種電燈能力所發生射線之大概情形。由此可知在通常情形之下，含氣體鎢絲燈(gas filled tungsten)對於紅外線攝影之效能最大。碳絲電燈所放射之紅外線雖極豐富，但其豐富之射線，均為紅外線攝影所需以外之射線，而紅外線攝影所需範圍內之射

線則不甚充足。設有一目的物，用感光最高點在波長 $8,000\text{\AA}$ 之紅外線，先在有氣鎢絲電燈光下攝影；繼在碳絲電燈光下攝影，若欲二者所攝之像片同樣明晰，則所需之曝光時間，各不相同。用 $f.4.5$ 鏡頭在 68 瓦特有氣鎢絲電燈光之下攝影，曝光時間為 30 秒，而在 80 瓦特碳絲電燈光之下攝影，曝光之時間則為 65 秒。由此種情形可知



第十一圖 各種電燈所放射光線中所含各種波長射線之曲線圖

1. 鎢絲燈 3220 度
2. 鎢絲燈 3920 度
3. 碳絲燈 2025 度
4. 碳絲燈 1725 度

A 與 B 二直線間，為紅外線攝影所需波長光線之區域。

有氣體鎢絲電燈之效率：碳絲電燈之效率

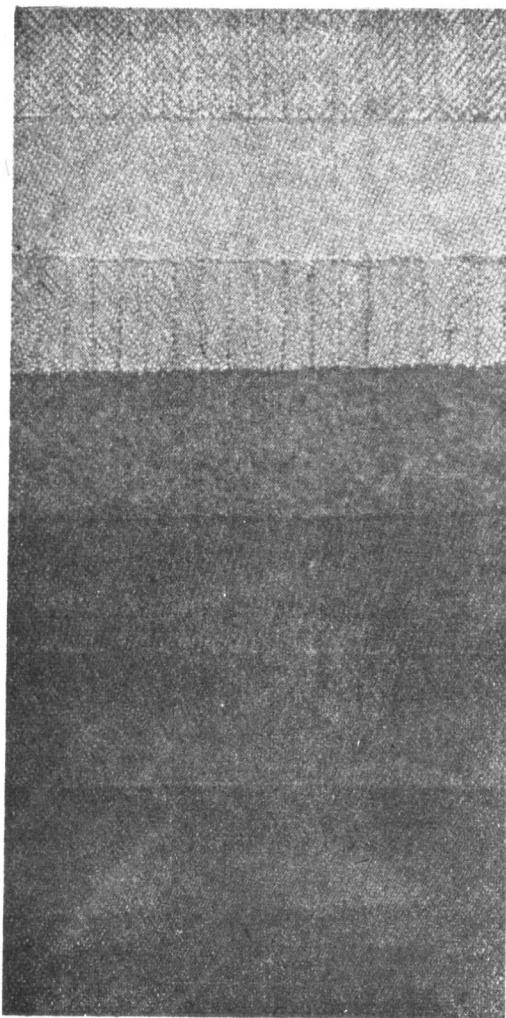
$$= 80 \times 65 : 68 \times 30 = 2.5$$

觀此可知用有氣體鎢絲電燈之效率，較碳絲電燈之效率大二倍半。茲舉一例以示大概。如用 1934 年伊爾福紅外線感光片，目的物之距離為 10 英尺，在 500 瓦特有氣鎢絲電燈光之下曝光所需之時間約為 8 秒。

第五章 紅外線攝影之應用

有色之物體，其顏色係來自光中，並非物質所自有。因其能吸收光譜中某一部份之光，且能透過或反射光譜中他一部分之光，故其外觀上現有呈某種顏色之特性。如某種物體呈藍色，乃因其能反射或透過藍色光，且能吸收或遮斷綠色光與紅色光，故目視之為藍色。他一物體能反射或透過綠色光與紅色光，且能吸收或遮斷藍色光，則呈黃色。若能反射或透過綠色光，且能吸收或遮斷藍色光與紅色光則呈綠色。故紅布不能得光中之紅色光，則不能呈紅色。黃布不能得光中之黃色光，則不能呈黃色。但在普通情形之下。無論其為吸收，反射或透過，均為其所受光之一部份。職此之故，吾人見有一種物質呈有何種顏色，係由物體上射入吾人目中之光成分不同所致。換言之，即係由物體所反射之光成分不同所致。凡顏色鮮明者，均由於吸收光帶 (absorption band) 與透射光帶 (transmission band) 比較敏銳。顏色暗淡混濁，則由於吸收不全；雖有某色之光線占優勢，吾人能區別某色，但其中有他色之光線混雜，故其顏

色亦不能鮮明。凡呈各種程度不同灰色之物質，均為中性吸收體(neutral absorber)。蓋某種一定深淺之灰色，對於光譜中可見部份各種波長之射線，均能吸收相等之量也。黑色物體能吸收照射其上之各種可見之光線，故有時可視為極深之灰色。目力敏銳具有辨色能力之人，能知各種所謂黑色並非互相一致。因光之藍，綠，或紅等色，深達一定之程度，均呈黑色。故藍黑(blue-blacks)，綠黑(green-black)，紅黑(red-black)均得謂之黑色。蓋上述之黑色，皆能吸收多量肉眼可見之各色射線，且在眼球之網膜上，不能發生感覺，故均應歸於黑色之列。姑就所謂紅黑色而言，係由極深之紅色所成，因其不能吸收極深紅色光線，故略覺有紅色。但極深紅色光線為光譜中波長7300 Å 與 7500 Å 間之部份，謂之紅端線(extreme red radiation)，在人類視覺上所生之感覺，亦極輕微，故肉眼不能辨，與不能在網膜發生感覺之黑色相同。但於攝影上則有特殊之用途，因有特殊之感光片，對於光譜中此部份之射線能感光。故肉眼雖不易感覺此種波長之射線，用感光片能辨別一種物體，是否吸收此種波長之射線也。用於此種攝影之感光片，謂之紅端線感光片(extreme-red sensitive plate)。矮克發 710 度感光片，及 760 度感光片，伊斯萌 K 號軟片，矮克發 K 號



第十八圖 各種黑色紡織物，用紅外線攝影所得之照片。

軟片，杜彭 D 號紅外線軟片 (Du Pont Infra D film)，均係適用於紅端線攝影之感光片。設有物體於攝影時，用濾光器遮斷波長 7800 \AA 以下之短波光，而使紅端線感光片仍能感光，則可證明此種物體對於光譜中此部份射線不能完全被吸收，而能反射一部份也。

光譜中紅端線所呈之紅色已極微暗，而在紅端線之外，更有毫不呈紅色之射線，即所謂紅外線，係一種熱線。射於物體上亦能發生反射，肉眼雖不能見，但用純紅外線感光物質 (really infra-red sensitive material)，可證明有此種射線之存在。第十八圖所表示者係品質不同黑色之紡織物數片，用紅外線方法攝影所得之結果。其中有數種雖亦為黑色物質所污染，但不能吸收波長 7500 \AA 至 9500 \AA 間之紅外射線，而發生反射作用。故用紅外線感光片攝影，則所顯之像幾成白色。

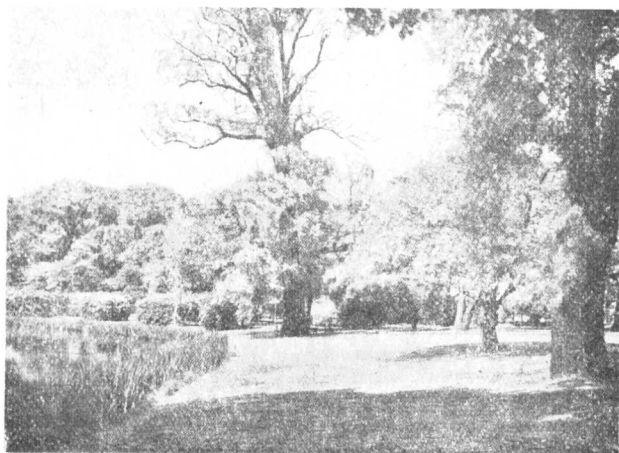
紅外線攝影之結果，不僅能使各種不同之黑色，得有各種光亮不同之像片，如有其他兩種鮮豔之顏色，肉眼視之，外觀上完全相同，而對於紅外線吸收之程度，各不相同。肉眼雖不能區別，用紅外線攝影，則在紅外線感光片上呈顯然不同之影像。用紅外線攝影，對於各種綠色，與各種藍色所表現之特殊性質，尤為顯著。

就人目力而言，對於黃色與橙色之感覺最亮，對於紅色則較青藍紫為亮。人眼對於光譜中各色光線之感光度及感光之百分數，可參閱第二圖。普通攝影所用感光片上乳膠之感色性，僅能感青藍紫等色，及人目所不能見之紫外線。對紅黃諸色則完全不起作用。補救此種缺點，乃有正色感光片（*orthochromatic plate*）與汎色感光片（*panchromatic plate*）之製造。此二種感光片之感色度，均較普通之感光片寬大。正色感光片對於黃色雖有敏感，而對於紅色仍無作用。汎色感光片則能感及紅色，其所具之感色性完全與人目一致。故攝影所得之結果，完全與人眼所視色調相同。然對於人目所不易見之紅端線，與人目所不見之紅外線，仍無感受能力。製造紅端線感光片與紅外線感光片之乳膠曾用有某種染色劑漬染，或含有某種染色劑，能感受目所不能見之射線，故在科學上及實用上均有特殊之價值。

利用紅外線攝影，能使有色之物質呈光明之白色，此種情形對於植物所呈之綠色尤為顯著。故用紅外線攝有草木樹葉之風景，所得之影片極為鮮明光亮。且因綠葉能反射多量之紅外線，在紅外線攝影中呈光亮之白色，故草木繁茂之風景，在有日光直接照射時，常能攝成擬似雪景之照片。夏季日光之

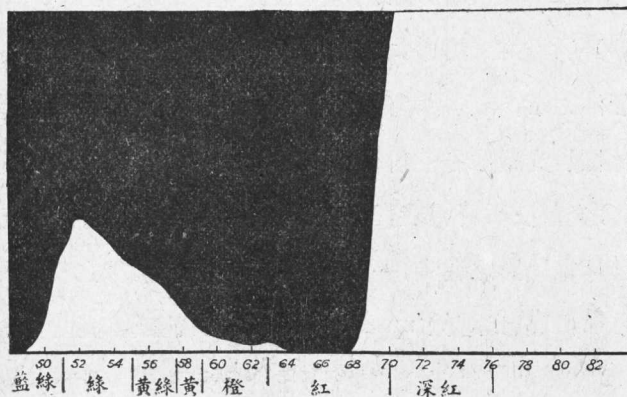


第十九圖 a. 用汎色感光片加濾光器所攝之風景片



第十九圖 b. 用紅外線感光片加紅外線濾光器所攝之風景片

照射，幾成垂直角度，用紅外線感光片攝影，加長曝光時間，則能得最佳之雪景照片。如十九圖中照片 *a*，係用汎色感光片所攝成，其光明程度與人目一致。照片 *b* 係用紅外線感光片所攝成，因綠色之草與樹葉，能反射多量之紅外線，乃呈極光明之白色，則宛似雪景矣。活動影片中之雪景多係用此種方法所攝成。紅外線攝影有此種奇妙之結果，在物理學上可用第二十圖中所表示葉綠素溶液 (solution of chlorophyll) 對於光線之吸收曲線解釋之。此種葉綠素溶液，係由生長於園籬上某種植物之綠葉中所榨取。由圖中曲線所表示之範圍，可知綠光之射線，僅能在一定之範圍內自由透過葉綠素溶液。而紅

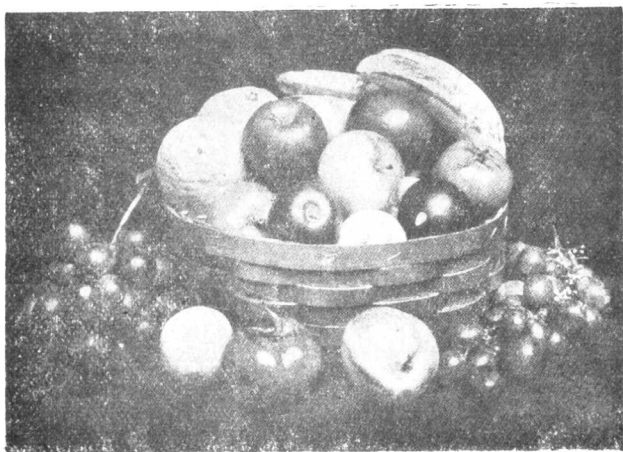


第二十圖 表示射線透過綠色物質葉綠素溶液之曲線圖

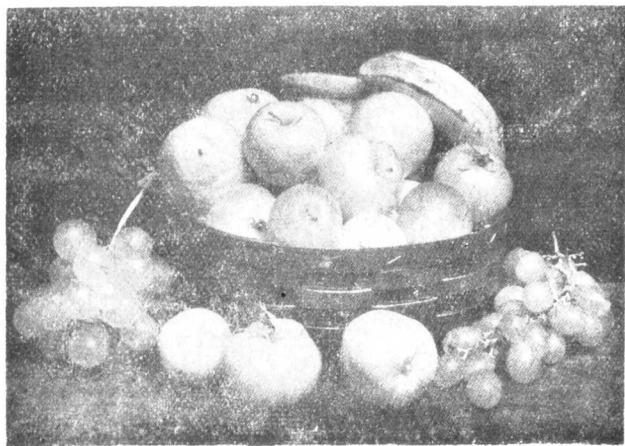
端射線與紅外射線，則能完全自由透過葉綠素溶液。就葉綠素在植物之葉內而言，含有各色光線混合所成之白光，照射於綠葉上，其中之藍色光射線與鮮明之紅色光射線，為葉綠素所吸收。綠色光射線與紅外射線照射於葉之白色細胞外膜上，不為葉綠素所阻礙，向各方面分散，故肉眼見之呈綠色，攝於紅外線感光片上則成白色。第二十一圖之各種葉片照片，*a* 為汎色感光片所攝之照片，綠色均甚黑暗，*b* 為紅外線感光片所攝之照片，綠色則極鮮明。由二者比較可知其情形不同，及紅外線攝影之特性。

分光學 (spectroscopy) 上之應用 紅外線既為目力所不能見，且為普通感光片所不能感之射線，故由分光鏡 (spectroscope) 所顯之光譜中，其紅外線部份，非尋常目力或普通攝影所能測知者，若利用赤外線攝影，則此種困難即迎刃而解。

關於光譜中各色射線波長之範圍，本書第一章中業已詳述。分光學上所研究者，即為光譜中所顯之吸收光帶。現今研究紅外線攝影之進步，一日千里，能感紅外射線之新物質，日見增加，對於光譜線 (spectral line) 中所能感之範圍，已達波長 $12,000 \text{ \AA}$ 。但紅外線攝影應用於分光學上，對於照相光度學 (photographic photometry) 有應須注意者。設所用為中性



(a) 用汎色感光片加依爾福 Gamma 濾光器所攝之照片，對於各種顏色鮮明之程度與人目所感者相似。



(b) 用紅外線感光片加紅外線濾光器所攝之照片，其鮮明程度較用汎色感光片所攝者，尤為光明。

第二十一圖 菓品照片之比較

板光度計(neutral wedge photometer),則最重要之點,須用劈板光度計在所顯光譜之全部上校核。有時劈板光度計在光譜中目光可見射線之各部份上,為較良之中性吸收體(neutral absorbers)。即吸收同量之各色光線,而呈灰色,且能感極深之紅光與紅外射線。故在分光鏡中應用紅外線,可以光度計檢驗與光譜中各種可見各色光線為比較,而測知紅外線也。

考古學上之應用 紅外射線對於外觀呈黑色之物體具有透明性,故可利用之以識別各種物質或物品。有時常人目力視為形式相同或相近似者,經紅外線攝影後,其形式不同之性質甚為顯著。古代書籍因文字模糊或紙質發生變化呈灰黃色,以致不易辨識其筆跡。雖有時用汎色感光片反照,可使之明晰,但在用汎色感光片攝影不能收效時,用紅外線攝影能得良好之結果。英國博物院中所藏暗黑色之皮革上書黑字之古代文書,字體隱而不顯,幾至毫不能辨識,用汎色感光片加紅色濾光器反照之結果,僅現出少數之白色文字。後用紅外線攝影所得之照片,皮色變淺,字跡頓呈明顯。更有一例係加利福尼亞省(California)罕廷頓圖書館(Huntington Library)之本笛克遜博士(Dr. L. Bendihson)用紅外線攝影以校閱古代書籍上塗改之文字。因原書上一部份之文字,觸當時忌諱,已為檢查之官

吏用墨水塗抹，不能窺見原有之文字。經本笛克遜用紅外線攝影後。因發見原來所印文字之墨跡，不能為紅外線透過，而塗抹之墨水則能為紅外線所穿透。故用紅外線攝影所得之照片，原有之文字畢露，而毫無塗抹墨水之遮線，由此而知其原來之

dentia innocenti. Et quidem eiusmodi abominaciones variz ibi reperrantur, vt optandum fit, quosdam Christianos Principes laborem hunc ab idololatria loca ista perpurgandi suscipere, quod quidem factu difficile non foret, si essent qui summo studio & pio zelo gloria Dei rem aggredissentur, cum populus sit tractabilis, et antea dictum est.



Quod ad magnitudinem & circumferentiam huius Insule *Celon* attinet, ea quidem ingentis olim capacitatis fuit, sed non parum ei hodie man-

ris in-

第二十二圖 (a) 用普通感光片所攝古書上被塗抹之痕跡。

dentia innocenti. Et quidem eiusmodi abominaciones variz ibi reperrantur, vt optandum fit, quosdam Christianos Principes laborem hunc ab idololatria loca ista perpurgandi suscipere, quod quidem factu difficile non foret, si essent qui summo studio & pio zelo gloria Dei rem aggredissentur, cum populus sit tractabilis, et antea dictum est. Nam quod ad *lufurianos* & idem atinet, illis cura non est, quomodo miseri & excruciant homines ad Deum conuertantur, sed quomodo commodum suum ipse promoveant. Respexit hunc finem Generalis, cum Erasmus Matisbergiū ibi relinqueret: cum enim videret, Regem virum admodum prudentem, summo studio de politica & religionis apud nostros constitutione inquirere, speravit, hac ratione fore à superstitionibus Ethnicis paulatim abducere, & ad agnitionē veritatis perveniret, quod ipsum quidem Erasmus modis omnibus se promeritum pollicitus est.

Quod ad magnitudinem & circumferentiam huius Insule *Celon* attinet, ea quidem ingentis olim capacitatis fuit, sed non parum ei hodie man-

ris in-

第二十二圖 (b) 用紅外線攝影，古書上被塗抹之字跡完全露出。

文字。第二十二圖 *a* 係用普通攝影所攝該書被塗抹之形狀，第二十二圖 *b* 係用紅外線攝影所得之照片，原形畢露，塗抹之痕跡極微。

法醫學上之應用 鑑定證據文件之偽造，擬筆，塗改，及物品之真偽，在法醫學上用紫外線攝影，及螢光鑑別法，雖占重要之地位，但利用紅外線攝影，常能更得精密之結果。因文字上所用各種墨水性質，微有不同，在紅外線照射之下，能呈顯然之差別。故肉眼所不能辨別，用紅外線照像得辨別之。1935年出版之“Analyst”中，恩斯衛司密吉爾博士(Dr. C. Ainsworth Mitchell) 研究各種有色物質及各種墨水之不透明性(opacities) 實為最適用之參攷，茲略述其大概。印刷所用之油墨，其中含有煤烟(lamp black) 或普魯士藍(prussian blue)者不能為紅外線所透過。故用紅外線所攝之影為黑色。由五倍子(iron-gall)所製之墨水，亦為不能透過紅外線者。大多數之紅墨水，紫墨水，藍墨水，則均能為紅外線所透過。至於先寫時呈藍色，在空氣中氧化後則變為黑色之藍黑墨水(blue-black ink)，其能為紅外線所透過之程度，則視其中所含鞣酸鐵(iron tannate)及藍色顏料多寡之比例為轉移。其含鞣酸鐵之百分數愈大者，紅外線透過之程度愈低。烏賊汁(sepia)所製之顏

料，亦為不易紅外線透過者。多數黃色顏料，如埃及古代之雄黃(orpiment)，由硫化鎘製成之鎘黃(cadmium yellow)，黃赭石(yellow ocher)，鉻酸鉛(lead chromate)均易為紅外線透過。故在感光片上所顯之影均極光亮。紅色中之茜草紅(alizarine red)，緋紅(scarlet lake)，銀硃(vermilion)，鎘紅(cadmium red)，鉛丹(red lead 四氧化三鉛)，其他如赭色及岱赭色顏料，因能為紅外線透過，所攝之影均光明。印度紅(indian red)用紅外線所攝之影則黑暗。藍色顏料中之多數，如普魯士藍，藍色素(cyanine blue)，古埃及含鐵之藍釉(ancient Egyptian blue frit containing iron)因其不能為紅外線所透過，用紅外線所攝得者，均為黑暗之影。其他藍色顏料如藍靛(indigo)，鈷藍(cobalt blue)，紺青(ultramarine)，天藍石(mediaeval lapis lazuli)，蓼藍(smalt)，銅藍(azurite)，則均能為紅外線所透過。綠色顏料，如孔雀石(malachite，埃及古代所遺留之綠色顏料)，銅綠(copper)，鉻綠(chrome green，由三氧化二鉻所製)亦不能為紅外線所透過，攝得者為黑暗之影像。顏料之種類甚夥，大多數均能為紅外線所透過。

以上所述各種顏料對於紅外線攝影之情形，係用矮克發 810 度紅外線感光片，伊斯萌 I. R. 紅外線感光片，及依爾福

紅外線感光片試驗所得之結果。但因紅外線感光片之感光範圍及感光最高點不同，往往發生差異。其中有數種顏料，用上述之紅外線感光片所攝成者，為黑暗之影像。但用對於紅外線感光範圍較大，感光點較高之紅外線感光片，如矮克發 950 度紅外線感光片，伊斯萌 Q 類之紅外線感光片所攝成者，有時為光亮之影像。蓋此種顏料有時雖不能為光波較短之紅外線所透過，但能為長波之紅外線所透過。茲述者僅其大概，詳細研究須親自實驗。

以上所述各種顏色，在紅外線中攝影之情形，應用於證據文件之鑑定上，常能得準確之結果。蓋由常人目視其形式色澤相同或近似，經紅外線攝影後，有顯然不同之結果，則真偽自明。

關於文證物證等檢查，法利爾氏 (W. J. G. Farrer) 曾指明一種方法，雖在實用方面效果如何，尚不能一定，但甚有興趣。況紅外線之應用，現今仍在萌芽時代，長此研究，能利用之處必多也。法利爾氏謂用紅外線濾光器如伊爾福濾光器 (Ilford infra-red filter) 瓦頓 88A 濾光器 (Wratten 88 A filter) 等，波長 7200\AA 以下光線，均被遮斷。波長 7200\AA 以上之紅端線及紅外線，能自由通過。雖用肉眼觀察，有時亦能得相當之結

果。蓋將被檢查之目的物，在強光照射之下，用肉眼經過濾光器觀察之，在可能範圍內，所見之形狀，可與用紅端線感光片所攝之影像相同也。但照射於目的物上之光須極強，可用60瓦特之電燈，置於離目的物約六英寸之處，隔濾光器觀察之，則所見之現象，可與紅端線感光片之攝影相同。

紅外線對於烟霾霧靄之穿透性 當大氣中有烟霾或霧靄瀰漫之時，欲攝取遠景或較遠處之目的物，用普通感光片即不能得有圓滿之結果。有時之烟霾，常人之目光見之，以為甚輕淡，然攝於照片之上，則極模糊，是其對於攝影上所生之障礙，較甚於肉眼也。自有汎色感光片發明以來，在有烟霾之時，攝取遠景用紅色濾光鏡所得結果，已能與人目相比擬。其明晰之程度，或可超過人目以上。若更進一步用紅外線攝取遠景，則所得結果更屬驚人。雖人目所不能辨別之遠景，在烟霾霧靄瀰漫之際，利用紅外線亦能攝得明晰之影片。此種實例甚多，本書卷首之插圖，即為在霧靄瀰漫之際，用紅外線攝取之風景片。用以與汎色感光片加紅濾光器所攝得者，互相比較，即可知其價值。穿透烟霾霧靄為紅外線重要性質之一，在科學上及應用上均為一般學者所重視。尤其在軍事學上之價值，有非言語所能形容者。故各國軍事家科學家均努力研究，所得成績秘

而不宜。近數年來進步至若何程度，雖不能妄測，但有長足之進展，實可斷言也。

因汎色感光片加紅色濾光器攝影，何以有穿透烟霾霧靄之能力。用紅外線感光片攝影其穿透烟霾霧靄之能力，何以特別增大。關於此種問題，應根據物理學上光學原理解釋之。

吾人之目力所以能視得遠方物體之原因，大概言之不外下述兩種理由：

1. 光源發出之光，照射於目的物上，由目的物上反射，透過，或擴散以達於人之目中，使吾人視覺神經受其刺激。
2. 目的物上各部份反射之光，成直線以達於吾人之目中，於是在網膜上構成物像。乃能由目的物上各部份所來光線之強度，性質，及顏色之不同，使吾人感覺上亦有種種區別，而知目的物之形狀，大小，顏色與方向。

若吾人所見之目的物與其週圍間有某種色或光，爲其對照或反襯(contrast)，則所見者較尋常格外清楚。反襯愈顯著，則所見之目的物亦愈清楚，可視爲一種普通定律。在適宜情形之下，某一物體光明度較其環境光亮百分之二，或暗百分之二，即易爲常人之目所能見。若與背景光明度之比例率爲百分之1.02，則達最低之限度，再低則不易區別矣。例如以劃有黑

白交錯條紋之西洋棋盤(有黑白相間之方塊六十四個)，置於遠處爲目的物。若白黑二種方塊上之光明度爲 30 比 1，則二者之差甚大，雖在尋常之光中見之，棋盤上之黑白方塊，亦甚爲明晰。若以灰色方塊代替棋盤中黑色之方塊，因棋盤中灰色方塊與白色方塊之對照減低，不若黑色之顯著，則目力不易區別。若以更淺之灰色方格代替黑色方塊，至白色方塊之光明度僅較灰色方塊高百分之二，則須在極光亮之處，始能區別。置於稍遠之處，即不易辨識其上有灰色方塊與白色方塊矣。

兩種顏色之深淺不同，或光之明暗不同，其情形既如上述。再就有黑白方塊之棋盤而言，設有受光照射之霧氣，瀰漫於其前。因霧氣中各微細分子被光源發出之光或隣近有光體所照射，則亦顯其光亮。且因受光發生反射，而向各方分散，故霧氣中之各微細分子亦可視爲一小光源。在棋盤前之霧氣既能有反射之光成爲一種光源，則能同時增加棋盤上黑白方塊之光明度，且對黑方塊與白方塊上所增加光之量相等。原來白方塊光明度與黑方塊光明度之比例率爲 30 比 1，現爲霧中微細分子反射之光所照射，而增加同等之光明度，則所增加光之量愈多，二者光明度之比例率亦愈小。換言之，即二者反襯之情形，亦愈不顯著。下列之表係假定霧之濃度增加至某量爲一單

位。由一單位之霧，對於人目所見白方塊與黑方塊所增加之光明，亦為一單位。由此可知在棋盤前之霧愈濃厚，則所增之光量亦愈多。設無霧之時，在人目中所成之像，黑方塊之光明度為1，白方塊之光明度為30，二者之反襯比例率為30比1。設霧之濃度增加十個單位，則黑方塊與白方塊在人目中所成之像，其光明度亦各增十個單位，則二者反襯之比例率為 $40 : 11 = 3.64$ 。在霧之濃度增加一千個單位時，則反襯之比例率為 $1030 : 1001 = 1.03$ 。在霧之濃度增加二千單位時，則二者反襯之比例率降至 $2030 : 2001 = 1.015$ 。於是人目中黑方塊與白方塊之影像，因霧濃而消失，目的物不能為人目所見矣。

	因霧微細分子反射所成之光明度	白方塊之光明度	黑方塊之光明度	三者之比例率
棋盤在清明無霧之大氣中	0	30	1	30
棋盤在十個單位之霧中	10	40	11	3.64
棋盤在一百個單位之霧中	100	130	101	1.29
棋盤在一千個單位之霧中	1000	1030	1001	1.03
棋盤在二千個單位之霧中	2000	2030	2001	1.015

更有二與上述原理有關之實例，言之亦極有興趣。在電影

院中投影燈所放出之光經過電影片而射於銀幕之上，則現有影像，爲一般人所稔知。在人目中之所以能見此種影像之原因，係電影院中及銀幕上他處均無光，惟投影燈所照射之處有光。二者之光明度相差甚大，互相反襯乃構成在人目中明晰之影像。設他處有光侵入，使電影院中之光明度增加，同時銀幕上之影像亦因之增加相等之光明度。雖由投影燈中所放射光之強度，並不稍減，但電影上之光明度與其環環中光明度之差則減小。因其反襯比例率減小，故在電影院中有微量之光，均足使電影上之影像減弱，不若以前之明晰。若逐漸增加至多量，則銀幕上之影像逐漸減淡，而至消失，不能爲人目所見。其他一例則爲都市中房屋臨街之窗常用如網狀之窗簾障之，以免爲行人所窺視。在有日光之時，用此種網狀窗簾，則窗外街市上因有日光照耀，光明度甚高，室內爲窗簾所障，光明度則較低，在室內之人視域上之反襯大，在室外之人視域上之反襯小，故在室內之人能窺見窗外街市上之情形，而行路之人不能窺見室內。及至夜間，室內有燈，光明度較大於街市上之光明度，則其情形與日間完全相反，故須關閉百葉窗，始能使室外之人，不致窺見室內。

因大氣中之烟霾霧靄，有能使經過之光線屈折分散及吸

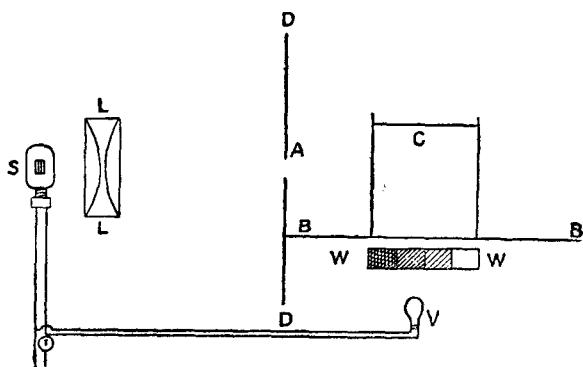
收之能力，致人目受其障礙。當光線通過烟霧，射於目的物上之時，有一部份爲烟霧中微細之分子所吸收，有一部份爲目的物所反射之光，則因屈折而分散，甚至消失，不能直接達於人之目中。故烟霧迷離達一定之濃度，則不能見物。例如在有霧之夜中，由遠處瞭望街市中之燈光，惟朦朧之白光一片，浮於空際。在大霧茫茫之夜中，見遠來汽車前方之燈，則與在無霧時所見者不同。無霧之時所見者係爲光源之燈，但在有霧之時所見者，爲一片散漫之光，必須在極近距離中，始能知發光之燈在何處。蓋因光線受霧中微細分子之屈折分散，不能直接射入吾人之目中，故不能知光源之所在也。

烟霧既能屈折分散，由光源所射出或由目的物所反射之光線，爲吾人視力之障礙。在烟霧之中能有方法以增進吾人之視力乎？欲解決此困難問題，理想上答案可曰：應減低霧中各微細分子之光明度，而不減低由目的物直接射入吾人目中光線之光明度，則能增進吾人在烟霧中之視力。此種情形在有霧瀰漫之日，可以事實證明。設在一有霧之清晨，空中之霧爲日光所照射，惟見白霧茫茫，數武之外，一片模糊。若於此時立於有遮蔽之蔭影中，如鐵路所通過之旱橋下，以眺望遠處，則可見之視域較廣。此乃因蔭影中，霧內微細分子之光明度較低

之故也。烟霧能使光線屈折分散，及人目在烟霧中視力之情形，既如上述，但據物理學者之研究，烟霧中微細分子對於各種性質不同之光線，其屈折分散之程度，亦各不相同。其對於某種性質光線屈折分散之力甚大，而對於另一種性質之光線屈折分散之力則甚小。設吾人利用受烟霧屈折分散影響較小之光線，可使霧之光明度較低於目的物之光明度，在視域上反襯之程度乃增加，所見者亦較為明晰。因選擇此種屈折分散性質較小之光線，乃用各種有顏色之濾光器。濾光器用於日光中，似人所戴之眼鏡，其作用能遮斷某種光線，不使之透過。在夜間，則用以加於光源之上。攝影所用之濾光器則以安置於鏡頭上為最相宜，各種短波光之射線較各種長波光之射線，易為空中瀰漫之烟塵水氣所屈折分散，其光波愈短者，被屈折分散之程度亦愈大。紫外線光與藍色光波較橙色與紅色之光波短，其被屈折分散之程度亦較大。紫外線光與藍色光，紅外線之光波最長，為烟塵水氣中微細分子所屈折分散者，亦極少。就人目視力之情形而言，欲增其穿透烟霾霧靄之性能，因人目對於波長 6500Å 以上之射線感受之能力甚低，故不能用較橙色更深之濾光器。且在低光明度中 (low illumination) 失其區別兩光明度相似物體之能力。至於波長 7600Å 以上之紅外線，更

非目力所能感受。雖用深紅色之濾光器能增加遠處目的物影像之反襯，但不足以補償因此消失之視力，故結果為黑暗，毫不能有所見。在攝影方面則不然，普通感光片，正色感光片與汎色感光片，雖不能感受紅外線，但吾人可用特殊之感光片使其感受紅外線。雖感光之能力較低，然亦可增加曝光時間以補償之。視覺對於各色可見光線之靈敏度，最高點為波長 6500Å 與波長 9000Å 間之射線。而紅外線攝影所用感光片之靈敏度，最高點為波長 6500Å 與波長 9000Å 間之射線。

光線之光波因波長之不同，在空中被屈折分散量亦有多寡不同，觀以下之實驗，即可明瞭。第二十三圖即此種實驗之裝置。



第二十三圖 光線透過人工霧試驗之裝置

C 爲玻璃槽(glass tank) 底與側面均係明潔之平面玻璃所構成。高爲 15 厘米，寬爲 10 厘米，厚爲 3 厘米。

C 玻璃槽中盛滿膠質之稀溶液，且加微量之酸類於中，若所加酸類之量適當，則靜置數小時後，發生雲霧狀之渾濁。在實驗中，用之以作人工所造之霧。

S 爲一投影燈。

L 爲聚光器，用以置於投影燈與玻璃槽之間，使投影燈中射出之光線平行投射於玻璃槽上。

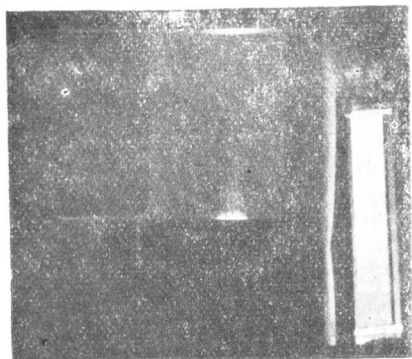
D 爲一黑色之屏，中有一孔，光線可以由此通過。

W 爲灰色光度計 (grey scale)。

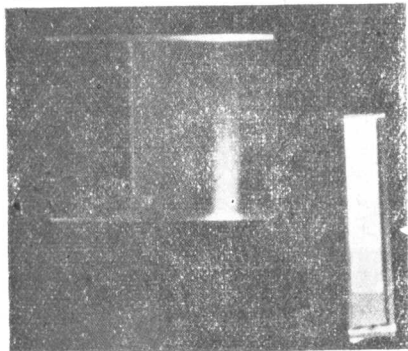
V 爲光度較弱之普通電燈，用以照明灰色光度計 *W* 者。此燈可與投影燈 *S* 接於同一電源上。此種實驗攝影時，鏡箱之位置，須同時能攝取玻璃槽 *C* 與灰色光度計 *W* 之影像。但在攝影時，須將投影燈 *S* 及照射灰色光度計電燈 *V*，由側面射出之光完全遮斷，不使之射入攝影鏡頭中。且不能使電燈 *V* 所發出之光照射於玻璃槽 *C* 之任何部份上。故用掩蔽物 *B B* 置於玻璃槽下，有延長之邊，足以遮蔽電燈 *V* 所發出之光。

第二十四圖，即用此種裝置實驗所得之結果。

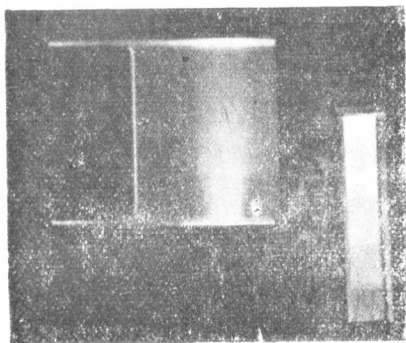
在實驗之時間內，用投影照射玻璃槽使其照度(illumina-



(a) 藍光透過人工霧之攝影



(b) 紅光透過人工霧之攝影



(c) 紅外線透過人工霧之攝影

第二十四圖 各種光線透過人工霧裝置之比較攝影

ation)一致,不致略有變更。用各種濾光器及各種感光片攝影,互相比較,則可知光譜中三部份之光,因霧中微細分子屈折分散之情形,各不相同。在灰色光度計上,亦有同樣之結果。由此可知藍色光被屈折分散之量較多於紅色光。紅外射線所受屈折分散之程度為最小,僅略有分散。且紅色光與紅外線之分散,僅及於光線直接照射之部份。而藍色光之分散,及於光線直接照射部份之週圍,使玻璃槽之大部份,有顯著之光亮。

設在此種實驗中攝影之際,用一白色長條之物質,置於玻璃槽之後方,使其受由前方所來光線之照射。則在用藍色光線攝影時,不能攝得此種物體之影像。但用紅色光與紅外線光攝影時,則能顯其影於照片之上。

由以上所述實驗室之試驗,即可明瞭紅色光線與紅外線之所以能穿透烟霧之原理。根據此種原理,可知用何種感光片與何種濾光器能使屈折分散之光減少。攝影時欲增加穿透烟霧之效能,所用之感光片與濾光器均須選擇適當。茲將各種感光片與其適用之濾光器列之如下:

正色感光片 (orthochromatic plate) 黃色濾光器 (yellow filter)。

汎色感光片 (panchromatic plate) 紅色濾光器 (red

filter)。

紅端線感光片 (extreme-red sensitive plate) 紅色濾光器 (red filter)。

紅外線感光片 (infra-red sensitive plate) 紅色濾光器或紅外濾光器 (infra-red filter) 即深紅濾光器亦名黑濾光器。

據一般從事紅外線攝影者云，以 xenocyanine 所製之紅外線感光片，加用瓦頓 87 號濾光器穿透烟霧之能力為最大。或用能感波長 9000 \AA 至 $10,000 \text{ \AA}$ 之感光片，配以適當之濾光器，對於烟霧亦可有較大之穿透力。編者對此尚無確實之經驗，但在極濃之烟霧中，用上述之感光片與濾光器，因光譜中此部份之射線多量為水氣之分子所吸收，有時亦難得圓滿之結果。

因紅外線有穿透烟霧之性能，利用之可助船舶之航行。注意於此種研究者，頗不乏人，但所預期之目的，仍未能達到。因在濃霧之時水氣之點甚大，在此種情形中紅色光線與紅外線分散之量亦較多，有時幾與藍色光線相等。利用紅外線攝影，僅能在不甚濃厚之霧中，能有效果，故尚不能完全用之於航海方面。

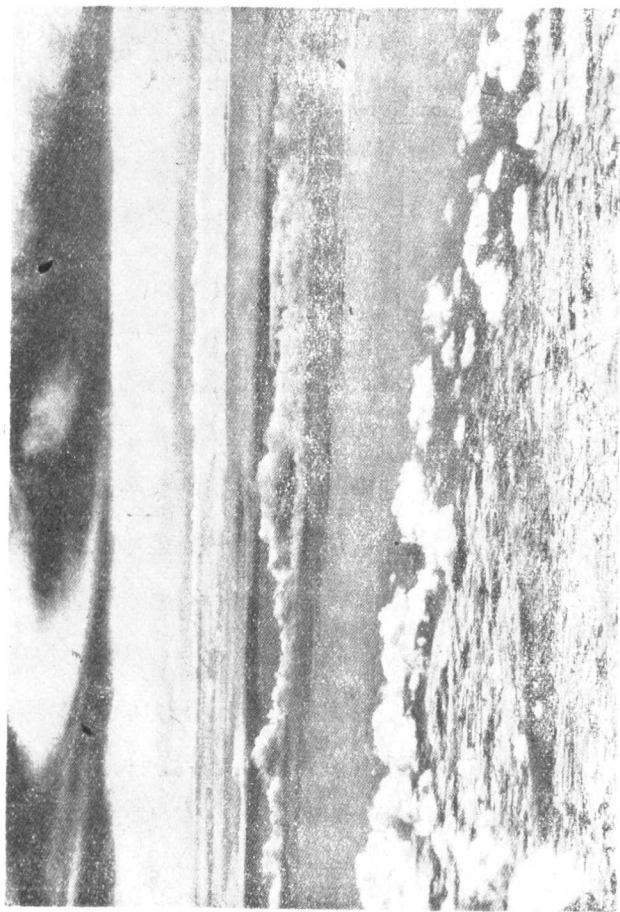
用紅外線感光片攝取風景片，亦有特殊之點可述者。在有

烟霧之時攝取遠景，用濾光器遮斷藍色光線，可使遠處目的物所顯之影像陰陽反差加強，與近處之目的物相似。若所用之感光片適當，則所攝之風景片，全部均甚明晰。惟一之缺點，僅遠處之目的物稍小耳。

遠距離之航空攝影 利用航空據最高之觀察點，因紅外線有透過烟塵霧靄之性質，雖對於極遠方之物體，亦能攝得清晰之影片。其望遠能力之大，不特非人目所不能及，實為現今科學上之一奇境。在地面大氣中有瀰漫之微塵與水氣，能使光線分散，致普通攝影雖在天氣晴朗之時，對於遠方景物明顯之程度，亦受其限制。但此種影響僅能及於短波光，紅端線與紅外線之光波，較各種可視光線之光波長，更不易分散。且在此種情形中，普通肉眼可見之藍光，既大部份被分散，則用紅端線或紅外線感光片攝影之範圍反可因之增大。故用紅端線或紅外線感光片，能使攝影望遠之能力增至極大。美國空軍大佐斯蒂芬(A. W. Stevens)曾升入 20,000 英尺之高空，在 295 英里之遠距離中，利用紅外線攝取安底斯山(Andes)之影像。不但在紅外線攝影上創一空前之成績，且由此對於地面之灣曲成弧形，得一確切之證明。嗣後斯蒂芬大佐又利用紅外線作更遠距離之攝影，在距離 331 英里以外，攝得夏思托山脈(Mt.



第二十五圖 現在最長距離之攝影
 美國航空大佐與阿達公司研究部合作，用 500 mm. 焦點距透鏡 f. 5 鏡頭，曝光 $\frac{1}{5}$ 秒，在 23000 英尺高空中之
 攝影 離距 331.2 英里之夏托思山脈亦被攝入照片中。



第二十六圖 用 1932 年式伊爾福紅外線感光片在英國 20,000 英尺之高空中所攝法國海岸之照片。

Snasta)之影片(第二十五圖)。雖攝影時之天氣極為晴朗,但在如此遠距離中所得影像,則甚明晰。可知紅外線在攝影上之威力,實足令人驚奇也。在歐洲方面雖不常見有此種事實宣佈,而利用紅外線攝影之研究,在猛進之中,亦可想見。第二十六圖為太晤士報所登載,係在英國:0000英尺之高空中,用紅外線攝得法國海岸之照片。

紅外線具有穿透烟塵霧靄之特殊性質,而能使遠距離之感光劑感光。故用於航空偵察及航空測量,雖在有烟霧瀰漫之際,亦可顯其能力。近年以來在高空中用紅外線以傾斜方向攝取地面上之形勢或目的物,已得有顯著之結果。惟各國此種研究多應用於軍事上,不肯盡量宣佈耳。至於在高空中以垂直方向向下攝影,則較為困難。因紅外線感光片之靈敏度甚低,須有較長之曝光時間,而飛機之航行速度甚大,目的物之影像在感光片上一掠而過,故難得完善之結果。現今努力於紅外線攝影之研究者,頗不乏人,已能使紅外線感光片之靈敏度增高。伊爾福公司 1932 年所發售之紅外線感光片用 f. 4.5 鏡頭,其曝光時間僅須 $\frac{1}{100}$ 秒,將來對於此種困難,必能有法補救也。

紅外線有穿透烟塵霧靄之性質,除可用於航空偵察及航空測量外,一般攝影利用紅外線亦可使目的物顯於影片上格

外正確。欲知紅外線在普通攝影上之價值，可用汎色感光片與紅外線感光片同時攝影，以互相比較其不同之點。

用紅外線攝取風景片之特殊性質 利用紅外線攝影與普通攝影不同之點，前已述及。再就攝取風景片而言，在用紅外線攝影時，得有種種特殊之性質。如叢生之綠草，密集之樹葉，及顏色鮮豔之花。用普通感光片攝影，俱呈黑色，失其原來光明鮮豔之態。用紅外線攝影，則呈有光輝之白色，而對於日光所成之蔭影，則呈深黑色。陰陽反差，至為明顯。且有穿透烟霧能力，適用於遼闊水面上之攝影。在天氣晴朗時藍色天空中紅外線極少，故由紅外線感光片攝藍色之天空，常呈極深之黑色。

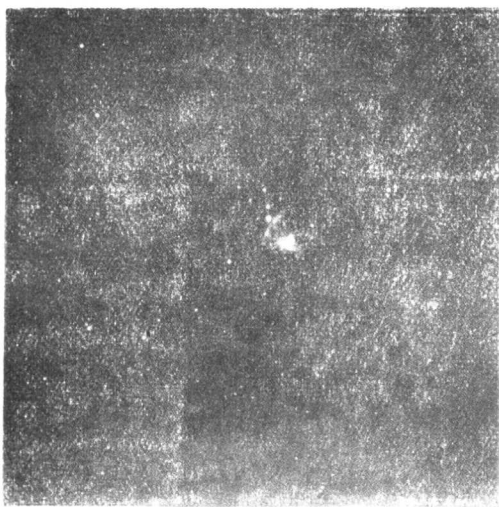
更有其他特性可注意者，乃在天空之中有灰色之雲瀰漫時，用紅外線攝影，能使天空中雲所呈之各種變化，一一顯於影片上。此乃由於雲之下層成朦朧之狀態，其厚雖足以限制人之目力，不能透視，但仍不能阻止紅外射線之透過，故能攝得有雲之影片。用紅外線攝影時，近景與遠景均能明晰，且覺二者之距離極近，皆係由於紅外線能穿透塵埃烟霧之結果。

在天文學上紅外線攝影之應用 紅外線之分散絕少，且有穿透霧靄之能力，故在天文學上應用甚廣。如在有月光之

夜，因天空中有反射之散光，常使光力微弱之星，不甚顯明。因此種反射之散光中，不含有紅外射線，故用紅外線感光片及濾光器攝影，能得完善之結果。雖肉眼不可見之星，亦可一一顯於影片上。且有利用紅外線而發現新星之說。因此種新星多含紅光或紅外線，既非目力所得見，普通感光片攝影亦不能攝得也。如第二十七圖，即獵戶星座之大星雲海 (Great Nebula Orion)，所隱藏之星。用普通感光片所攝之影，不能如紅外線感光片所攝之影明顯。

在天文學上常利用照相機及分光鏡 (spectroscope)，以研究天體中各星所發光之性質。自有紅外線攝影，對於星光光譜之研究，亦大有進步。例如八大行星中金星之光，乃由日光所反射。以前研究金星光之光譜，僅知其中有與日光相同之吸收光帶 (absorption band)，即夫牢因和斐譜線 (Fraunhofer line)。後用紅外線攝影，知在金星光譜中波長 7820Å 及波長 7883Å 處，尚有二極著之吸收光帶，此二吸收光帶乃二氧化碳之吸收光帶。故由此種現象，可推知在金星外圍之氣體中，尚有大量之二氧化碳存在也。

顯擬似月光之攝影 在天氣晴朗之時，天空中反射多量短波光，而草木綠色之葉則反射多量之紅外線。故用紅外線感



(a) 普通感光片所攝之照片



(b) 紅外線感光片所攝之照片

第二十七圖 獵戶星座大星雲海之攝影

光片攝影，天空毫不感光乃呈黑色，對於草木之葉有感光作用，乃呈光亮之白色。利用此種情形，雖在日中攝得之影片，亦如有月光時之夜景。在攝製電影片需月景之時，用此種方法，殊有價值。

月光之性質並非僅由於月之本身，外觀呈白色所致。乃由其照度發生之某種特性所致。天空原係黑暗者，故由月光直接所照射之物景，甚為明顯。無月光處之蔭影，則甚黑暗，肉眼觀之朦朧不清。但在日光中之情形，則非為此。當日光燦爛照耀之時，天空亦甚光明。故日光不直接照射處之蔭影，亦不若月光下蔭影之黑暗。日中蔭影較光明之原因有二，即日光之照度較月光高，雖不直接受日光之蔭影，亦受空際反射之光照耀。蓋因日光中雖有紅外線成分，而空際所反射之光線中，所含之紅外線則極少。故用紅外線攝影稍稍加技術上之變化，雖在日中能攝得類似月夜風景之影片。但必需日光晴朗，天空呈藍色，始能獲得此種結果。因藍色天空中紅外線極少，不能使感光片感光，在影片上所呈之黑暗能與黑夜之情形相似也。此種用紅端線或紅外線感光片攝取疑似月夜風景之影片，須用紅光或紅外線濾光器。曝光之時間，則須較短。因有濾光器遮斷各種肉眼可見之光線。曝光之時間不足，可使所攝之影片性質較

硬，且影片上陰影所呈之黑暗較深。現今攝製電影所用感光片之感光度較低，甚合於此種攝影之用，因感光度低之感光片甚易使其感光不足，適合於此種性質之應用也。

應用於診斷上之攝影 就普通人像攝影而言，用汎色感光片攝影，再加以技術上之修飾，可使顏面上之斑點或皮膚上其他不美觀之痕跡，隱匿無存。現今若在美術之觀點上，試用紅外線攝取人像，則對於皮膚上之瑕疵，與不美觀之色澤，更能不現於影片上，使人愈為滿意。如眼珠呈特殊之黑色，而容貌之外觀，則呈有光潤之白色，翊然生動，絕非通常汎色感光片攝影所能比擬，實美術上一大進步。如黑種人用紅外線攝影，所得之照片容貌光潤，皮膚皙白，與白人無異。除此之外，



(a)普通感光片所攝

(b)紅外線感光片所攝

第二十八圖 內格羅黑人普通感光片照像與紅外線感光片照像之比較，其紅外線攝影不但顏面光潤且口上有鬚髭。

在實用方面，亦極有價值，如紅外線攝影，能應用於病理之診斷上是也。

以前用紅外線攝取人像，曾發現一種特異之現象。雖新整容剃盡髭鬚之人，其所攝之像片上，竟短髭滿面。且有更可令人驚奇者，即一內格羅黑人，用紅外線所攝之影片，其容貌幾全呈白色，而於其口部現有黑色之髭鬚，如第二十八圖。後加以種種研究，始知人類之筋肉皮膚，俱能為紅外線及光譜中紅外線附近之光線所透過，且透過之程度甚高。因血液有相當濃度，可遮斷肉眼所能見之光線，而組織中之水份，則能吸收多量紅外線，故筋肉中未長出之短髭，在用紅外線攝影時，能透過皮膚及薄層筋肉而現於像片上。第二十九圖乃用紅外線感光片所攝人類腿部之像片，在皮膚下之血管甚為明顯。但用正色感光片所攝之影片中，則不能有此種現象。如人體上生有狼瘡(lupus)之類癰疽，皮膚表面之病態不甚顯著，而在皮下潰爛之情形甚為嚴重，則可用紅外線診斷之。故紅外線攝影在醫學上，可供診斷，使治療方面有種種便利。此種方法，頗為簡單，醫院中已有採用者。

紅外線在顯微攝影術上之應用 顯微鏡中攝影，用汎色感光片(panchromatic plate)及特種濾光器，能攝得明晰之



(a)正色感光片所攝之照片



(b)用紅外線所攝之照片

第二十九圖 用紅外線所攝人體腿部之照片，皮下之血管均甚明顯，而正色感光片所攝之照片則不能有此種現象。

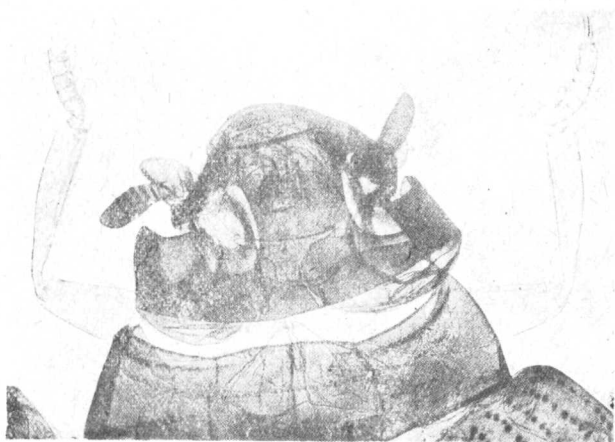
像片，已為一般人所公認。凡目的物為棕色或帶有紅色者，在顯微鏡下用普通感光片攝影，則幾為黑色，所見之情形不能明晰。用汎色感光片與紅色濾光器，攝取顯微鏡中之物體，所得之結果雖較佳，但僅能見其表面。欲求其內容明晰，須用能感穿透物體之紅外線感光片，而用濾光器遮斷肉眼可見各種明

亮之光線，則穿透物體之紅外線，能使紅外線感光片感光。

在顯微鏡中有肉眼所不能見之部份，用紅外線攝影，甚為明顯，故紅外線攝影，能使顯微鏡之效用增加。因物質中有不透可見光線，而甚易為紅外射線所透過。故顯微鏡下物體之內容肉眼所不能見者，有紅外線穿透，用紅外線攝影能發現之。參觀第三十圖。此種攝影，須先依吾人之肉眼，調準顯微鏡之焦點。在用紅外線感光片攝影時，再按一定之步驟轉動調節焦點之螺絲，使焦點調準。顯微鏡上紅外線攝影之焦點，既不能以肉眼調準，非積有經驗者實難使之適合。大約以一打感光片實驗後，對於調準焦點自有心得。最近羅曼氏(H. Naumann)曾述一顯微鏡上紅外線攝影調準焦點之方法，有時甚為適用。其方法乃先用綠色濾光器調準目的物之焦點；記其顯微鏡上微動器所指之數字，再用紅色濾光器重行調準目的物之焦點，調節時僅旋動調節螺絲，再記其微動器上所指之數字。此種手續既已完畢，依紅濾光器之調節焦點時之方向轉動螺絲，使所增加之度數，約為由綠濾光器調節焦點變為用一濾光器調節焦點時之二倍。例如用綠濾光器調節目的物之焦點時，微動器上所指之數字為 10。嗣用紅濾光器調節焦點時，微動器上所指之數字為 25。由此推之，紅外線之焦點，在其微動器上之數



(a)用普通感光片加紅濾光器所攝之照片



(b)用紅外線感光片加紅外線濾光器所攝之照片

第三十圖 在顯微鏡照相中用普通感光片與紅外線感光片之比較

字應爲 $25 + 2(25 - 10) = 55$ 。此種調準紅外線焦點方法，所用之綠濾光器以能自由透過波長 5200Å 與 5800Å 間射線之綠色濾光器 (tricolour green filter) 爲宜；所用之紅濾光器則以能透過波長 6200Å 以上射線之伊爾福光譜紅濾光器 (Ilford spectrum red filter) 爲宜。上述之方法適用於有消色差接物鏡 (achromatic objective) 與無色差接物鏡 (apochromatic objective) 之顯微鏡。用於有合組接物鏡及已校正色差接目鏡之顯微鏡，亦能合宜。若用於惠更斯接目鏡 (Huyghenian eye-pieces) 則紅外線之焦點須加變更。其焦點之移動在用紅濾光器調準後，約須增加綠濾光器焦點與紅濾光器焦點差之 1.2 至 1.3 倍。

在顯微鏡上用紅外線攝影，常因底片上之反差 (contrast) 太大不得較佳之像片，則在顯影時可用極軟性顯影劑 (soft-working developer) 以補救之。若在他一方面，底片太平，其影紋不甚顯著，此乃由於所用之感光片不適於此種顯微攝影所致。補救之法，須於攝影時注意，不可曝光太過。設在顯微鏡中用紅外線攝影之目的物爲紅外線極易穿透者，如紅色及紅褐色之物體，則以汎色感光片用紅色濾光器攝影，即可得明晰之像片。若用紅外線感光片，使底片上之影紋太平，結果反因

之不良。

暗中攝影 紅外射線為肉眼所不能見之光線，若以此種射線為光源而攝影時，則他人不覺有光之作用，故謂之暗中攝影。暗中攝影實為攝影學上極有興趣之事，其起源雖由於好奇心之驅使，但近年以來在實用方面已日趨重要。因利用紅外線使對方不知不覺，毫無防備中而能攝影。如在戰爭時用此種光源照射於敵方而攝影，能知其軍情，在軍事上實為極可注意之事。除此之外，其他如用於警察，偵探及新聞等攝影上，亦有相當之便利。紅外射線雖可用於暗中攝影，但在方法上有數應注意之點，茲述之如下。

現今攝影所用之各種感光片，對於感光之靈敏度，均有一定之範圍。超出範圍之外，則不能發生感光作用，其情形已詳述於前。就現今市上所發售之紅外線感光片而言，最大限度僅能感波長 $11,000 \text{ \AA}$ 之射線。故各種目的物在攝影時，必須有波長短於 $11,000 \text{ \AA}$ 之射線；但隣近波長 7600 \AA 之射線為肉眼可見之光線。就以上二種情形觀之，則暗中攝影用作光源之射線，應為波長 7600 \AA 與 $11,000 \text{ \AA}$ 間之射線。故從事研究此種暗中攝影，應選擇光源上所用之濾光器，使光源中波長 7600 \AA 以下之短波光線，盡行遮斷，不能透過。而所能透過者，盡為波

長 7600 \AA 以上，及 $11,000 \text{ \AA}$ 以下肉眼所不能見之紅外射線。第一頁及第十三圖所述之各種濾光器中，以 Wratter No 87 濾光器用於紅外線暗中攝影最為適宜。Wratter No 87 濾光器，雖不能認為完全，但肉眼可見之光線，能穿透此種濾光器者，僅波長 7500 \AA 與波長 7600 \AA 間之射線。故其光之照度極微，而其透射曲線所經過者，為紅外線乳膠 infra-red emulsion 靈敏度之大部份（參閱第十二圖），因其能透過多量紅外線，故適於暗中攝影之用。肉眼對於波長 7600 \AA 射線之靈敏度極微，甚至完全不能感覺。但用極暗之濾光器，恰能完全遮斷波長 7600 \AA 以下之射線。用電燈為光源，由濾光器中亦能窺見燈泡中鎢絲有微弱之光。但就其黑暗之程度而言，在一暗室中攝影，用鎢絲燈為光源於其上加極暗之濾光器，除燈本身中之鎢絲可見外，其他一切物體，均非肉眼上所能見。市上所售之濾光器，如伊爾福紅外線濾光器，及 Wratten No 88 濾光器，雖在燈前最近處之物體隱約可見，亦適合於紅外線攝影之用。

除上述者以外，尚有兩種濾光法，雖手續較繁，亦有可用之價值。其一為數層藍色鈷玻璃 (blue cobalt glass) 與任何深紅色濾光器並用，即可增加濾光器之效率。Schott's B. G 3 玻

璃甚合於此種用途。其他一方法，亦可與本書中所述之各種紅外線濾光器合用，係用含有七水合硫酸鎳(nickel-sulphate heptahydrate)五十公分之水溶液 100 c.c. 盛於厚約一公分之透明容器中加於濾光器上。能透過此種連合濾光器者，為波長 7900 Å 至波長 9500 Å 間之射線。但其透明度雖達最高點，而所能透過之射線僅百分之十，且能將可見光線遮斷至極低度，故僅適於特殊攝影之用。

用紅外線暗中攝影，現已逐漸進步。歐美各國研究攝影之雜誌中，均有此種實例。在 1930 年出版之“Kodak Research Laboratories”曾有一例，光源為間接照射之鎢絲電燈，電力為每平方呎一千瓦(kilowatt)，燈前加 Wratten No 87 濾光器，光圈為 f.3.5，用增感後 Eastman 紅外線感光片，曝光 1 秒鐘，所得之結果甚為明晰，與普通之攝影無異。在 1932 年之 Royal Photographic society 中有 Mr. Olaf Bloch 演說時之攝影，光源為 1500 枝燭光之有氣體電燈三盞，距最前列之聽衆，約十五英尺，而各燈上均加以伊爾福紅外線濾光器 (Ilford infra-red filters)，由此種光源直接照射，用 f. 8 光圈以 1932 年式伊爾福紅外線感光片曝光 5 秒鐘所得之影片，結果亦極良好。

暗中攝影另一實例，爲利用有熱而未達發光程度之物體從事攝影，在此種情形中，有熱物體所放射者雖僅爲熱線，而其中亦含有少量之紅外線，故能使紅外線感光片感光，惟其放射之紅外線甚少，須經極長之時間始能攝成。柯達公司，對於此種方法曾加研究，因物體加熱在 420°C . 以下，尙不致發光，乃用電氣熨斗熱至 400°C . 爲熱源，用 $f.4.5$ 鏡頭曝光達五小時之久，亦能使感光片感光。結果雖不甚清晰，但亦暗中攝影之一特例也。如第三十一圖。



第三十一圖 利用熱線中之紅外線在暗中之攝影