

摄影与空中摄影学

武汉测绘学院航空摄影教研组 编

攝影与空中攝影学

編者 武汉測繪学院航空攝影教研組
出版者 測繪出版社

北京西便門大街地質部內

北京市書刊出版登記證出字第 081 号

發行者 新华書店科技發行所
經售者 各地新华書店
印刷者 北京市印刷一厂

北京西便門大街二一號

印数(京) 1—3,500册
开本 787×1092 1/16
字数 300000
定价(10) 2.00元

1960年6月北京第1版
1960年6月第1次印刷
印張 13 插頁 7
統一書号: 15039·418

前 言

本書是根据1958年教育革命后我院新編的摄影与空中摄影教学大綱編写而成的。可作为航空摄影測量專業教材及供航空摄影工作者和其他摄影技術人員参考。

全書內容共分四个部分：第一部分为摄影的一般原理，第二部分为空中摄影及其摄影处理，第三部分为航測摄影室的作業过程，第四部分为彩色摄影。

本書系分工負責編写，虽經多次討論和三結合方式的审查，但由于編者理論水平有限和实际經驗不足，錯誤之处，仍为难免，敬希使用和参考本書的同志随时提出宝贵意見，以便修正。

本書編写的主要参考書：

- (1) 摄影学与空中摄影学 В. Я. Михайлов (1952年出版)
- (2) 摄影与空中摄影学基础 М. Н. Цыганов (1952年出版)
- (3) 摄影实验室工作指南 В. Я. Михайлов (1954年出版)
- (4) 摄影学与航空摄影学 胡宏偉編 (1953年出版)

本書由航空摄影教研組俞浩清、洪克艺、唐培勳、張元嶺等同志編写。

武汉測繪学院航空摄影教研組

目 录

第一章 概論	7
§ 1.1 攝影的發展过程和我国攝影發展情况概述	7
§ 1.2 攝影技术过程	9
§ 1.3 攝影在科学技术中的应用	10
第一部分 攝影的一般原理	
第二章 攝影机	12
§ 2.1 攝影机的基本結構	12
§ 2.2 透鏡和它的特性	12
§ 2.3 單透鏡在光学上的缺点	15
§ 2.4 攝影物鏡的焦距	19
§ 2.5 相对孔径和透光力	19
§ 2.6 光圈和景深	22
§ 2.7 物鏡的視場、視角和像場、像角	27
§ 2.8 物鏡的分解力	28
§ 2.9 攝影快門	30
§ 2.10 攝影机	31
§ 2.11 攝影机的保养及其注意事項	33
第三章 攝影光化学基础	35
§ 3.1 光的本性	35
§ 3.2 光源的色溫	36
§ 3.3 物体的顏色	39
§ 3.4 光化学基本原理	40
§ 3.5 感光乳剂层的成分和結構	42
§ 3.6 光对感光层的作用	43
§ 3.7 增感和减感	46
第四章 感光測定	50
§ 4.1 感光測定和它的意义	50
§ 4.2 透明度、不透明度和光学黑度	51
§ 4.3 感光測定試驗的基本方法	52
§ 4.4 特性曲綫的分析和感光材料基本特性的确定	59
§ 4.5 感光材料基本特性在攝影实践中的意义	65
§ 4.6 光譜感光度(感色性)的測定	68
§ 4.7 光暈現象和乳剂层的分解力	70
§ 4.8 像紙的感光測定	71
§ 4.9 濾光片	75

第五章 感光材料的制造概述	78
§ 5.1 感光乳剂	78
§ 5.2 摄影硬片	84
§ 5.3 摄影软片	86
§ 5.4 像纸	88
§ 5.5 感光材料的保存条件	92
第六章 负片过程与正片过程	98
§ 6.1 显影的一般原理	91
§ 6.2 显影液的成分以及各种成分的作用	93
§ 6.3 显影液的一般特性	101
§ 6.4 主要几种显影液	102
§ 6.5 一般显影技术和显影液的损耗	105
§ 6.6 定影的意义和化学原理	106
§ 6.7 定影液的种类和成分的作用	108
§ 6.8 水洗	111
§ 6.9 干燥	113
§ 6.10 正片过程	113
第二部分 空中摄影及其摄影处理	
第七章 空中摄影	117
§ 7.1 空中摄影的目的和航摄负片应具备的基本条件	117
§ 7.2 航空景物的照度	117
§ 7.3 航空景物的光谱特性	120
§ 7.4 航空景物的亮度差和平均亮度	124
§ 7.5 大气对空中摄影的影响及其消除方法	125
§ 7.6 空中摄影曝光时间的计算	130
第八章 航摄负片的摄影处理	133
§ 8.1 野外摄影室的组织方案、作业室的选择以及安全技术	132
§ 8.2 摄影处理溶液的配制	132
§ 8.3 根据空中摄影条件选择显影药方	134
§ 8.4 航摄软片的显影仪器	135
§ 8.5 各种显影方案	138
§ 8.6 航摄负片在显影以后的各种处理	142
§ 8.7 航摄负片质量的评定	145
§ 8.8 航空摄影队内的复制过程	148
第三部分 航测摄影室作业过程	
第九章 复照过程	151
§ 9.1 复照原图的分类型	151
§ 9.2 复照仪及其附属装置	151

§ 9.3	光源和感光材料的选择	154
§ 9.4	复照技术	156
§ 9.5	复照负片的摄影处理	161
§ 9.6	复照负片的质量要求	163
§ 9.7	负片的减薄与加厚	163
第十章	像片的晒印	168
§ 10.1	像纸的选择	168
§ 10.2	接触晒像	169
§ 10.3	投影晒像	174
§ 10.4	像片的处理	178
§ 10.5	像片的主要缺点及其产生原因	180
§ 10.6	在硬底板上裱糊像纸	183
§ 10.7	像片的调色	184
§ 10.8	非银盐晒像法	185
第四部分 彩色摄影		
第十一章	彩色摄影	188
§ 11.1	色视觉理论和色学概述	188
§ 11.2	加色混合和减色混合	190
§ 11.3	现代的彩色摄影材料	193
§ 11.4	利用彩色摄影材料进行摄影	196
§ 11.5	彩色摄影处理	198

第一章 概 論

“攝影”就是利用光在攝影機內部所裝的感光材料上起作用而獲得與景物相似的影像的過程，或者可以稱它為“光的記錄”過程；故攝影和攝影科學的對象是在確定光對感光層作用的規律，並從理論上和實際上研究和探討各種獲得攝影影像的方法。

空中攝影，除了研究上述內容以外，還得考慮到空中攝影的特殊條件以及專門目的對攝影成果的要求。對航空攝影測量而言，就是要研究如何獲得合乎航空攝影測量要求的、清晰而精確的測圖和判讀資料（航攝負片和航攝像片），這也就是本課程的主要任務。

§ 1.1 攝影的發展過程和我國攝影發展情況概述

利用光獲得穩定的影像至十九世紀才發明。但是人們對這門科學的研究，遠在攝影發明以前就已開始。

首先在攝影光學方面，根據已發現的資料，我國在公元前八百年的戰國時代，墨子就研究光與影的關係以及鏡子的構像原理，雖然他沒有直接提及攝影，但所下的定義與現代攝影光學所用的相同。其他國家研究攝影也是從光學開始的。故對於光與影的關係的研究，實際上就是研究攝影的開端。

攝影鏡箱的最初出現是在十五世紀。當時的形式非常簡單，它是一個不透光的箱子，箱子的前壁開一個很小的孔——鏡孔，箱子的後壁是一塊玻璃，這樣的鏡箱就稱為針孔暗箱（見圖1-1）。當初只是用來幫助繪畫，即在玻璃上復一張油紙，位於暗箱前的明亮物體，便能在後壁上構像。這種暗箱的缺點是影像的亮度太微弱。因為影像的亮度取決於鏡孔的大小，而鏡孔又不能開得太大，太大会使影像模糊不清。後來鏡孔由凹透鏡和凸透鏡所組成的光學系統替代以後，影像的亮度和清晰度就大大改善了。

利用暗箱作繪圖工具，幾乎達兩百年之久。從那時起，暗箱便逐漸改進，到攝影開始以前，暗箱的形式原則上就與現代的攝影鏡箱相同了。

在攝影化學方面，研究的開始也是很早的；例如硝酸銀和氯化銀的感光性早就被人們發現，而且也嘗試獲得了影像，只是都沒有能使所得的影像固定。

利用光來獲得固定影像是到1827年才開始的。最初是在土瀝青層上得到的。將土瀝青溶解

於拉芬得油後，塗布於金屬板上，次在此塗液的金屬板面復以透明的圖樣，然後使它曝

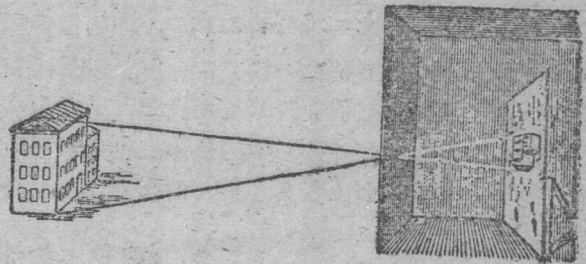


圖 1-1 利用針孔暗箱獲取影像

光。曝光后，受光的土瀝青起了化学变化便失去溶解性而硬化。未受光部分的土瀝青沒有起什么变化，可用拉芬得油溶解掉。这样的版面再用酸处理后就得到一个明显的图样影象。这便是现代摄影制版法的基础。由于土瀝青感光性很低，因此不能广泛的应用它来作暗箱的摄影。

至1839年便开始采用卤化银层摄影，当时是用一块银版或涂有银的底版，使之受碘蒸汽的作用，版面上便渐渐的形成一层碘化银。将此版装入暗箱摄影，经过光化作用，在版面上便得到一个极微弱的影象。将这影象与水银蒸汽作用，使受光部分在水银蒸汽的作用下凝成白色的汞合金。经过大苏打溶液处理后，版面未受光部分的碘化银被大苏打溶解掉，而露出银的表面。这时从一定的角度去观察，银面是黑色的。汞合金与银面的色调相配合下便形成了影象。但是这种方法所得的只是一种模样，而不能复印。因此在实际中，也没有得到广泛的应用。

摄影的第二阶段是湿版法的发明。当时硝酸纖維的出现对这个方法的运用有着很大的帮助。硝酸纖維能很好的溶解于酒精和乙醚中成透明的胶状物质，此物质称它为克洛丁。在克洛丁内加入碘和溴后，将它涂布于玻璃片，俟其凝固后，再浸入硝酸银溶液内，使其起化学变化，版面上便形成一层感光材料最主要的感光物质——卤化银。

乘版面潮湿的时候就装入暗箱内摄影，然后通过显影和定影的过程，于是版面上便得到了微小金属银所组成的影象。这种影象就它本身的色调来说，与原物刚好相反，即原物光亮部分在底版上是黑色的，而原物阴暗部分在底版上是透明的，因此湿版可以用来大量复制与原物色调一致的正象。但是由于湿版必须在潮湿时进行摄影，也就是说，只能现制现用，同时制版的设备笨重，只能限制在固定实验室应用。

摄影发展的第三阶段是溴化银干片的开始，这也是现代摄影的基础。这种方法是在明胶溶液内加入硝酸银和溴盐以及少量的碘盐，使其形成卤化银而均匀地分布在明胶介质内。将含有卤化银的明胶溶液涂布在玻璃或赛璐珞上，晾干后即成为溴明胶干片。干片和湿版各有其优缺点，故目前两者均同时应用于生产中。

1871年以后，各国在提高感光材料的感光性，正确表达物体的色调以及获取天然色影象方面曾进行了很多研究，目前在这几方面已经得到了显著的成就。

目前的摄影技术可以说已发展到相当完善阶段。但是对我们国家来说，摄影事业的蓬勃发展，还是解放以后的事。在解放以前，由于我国处于半封建半殖民地的地位，虽然劳动人民也曾有过一些发明和创造，但终因得不到统治者的重视而都被埋没了，因此很多摄影器材过去都是由外国进口。解放以后，在党的英明领导下，我国的摄影光学机械和摄影化学工业有了突飞猛进的发展，尤其是在大跃进形势下，我国不单已经制造了精密摄影物镜，而且各种新型的摄影机也已经不断的出现。相信在党的英明正确的领导和关怀下，不久将会出现更多更好的摄影器材，摄影事业将会更大的发展。

§1.2 摄影技术过程

现代的摄影技术过程，可用以下的简图说明。它分为三大步骤，即：摄影，负片过

程，正片过程。

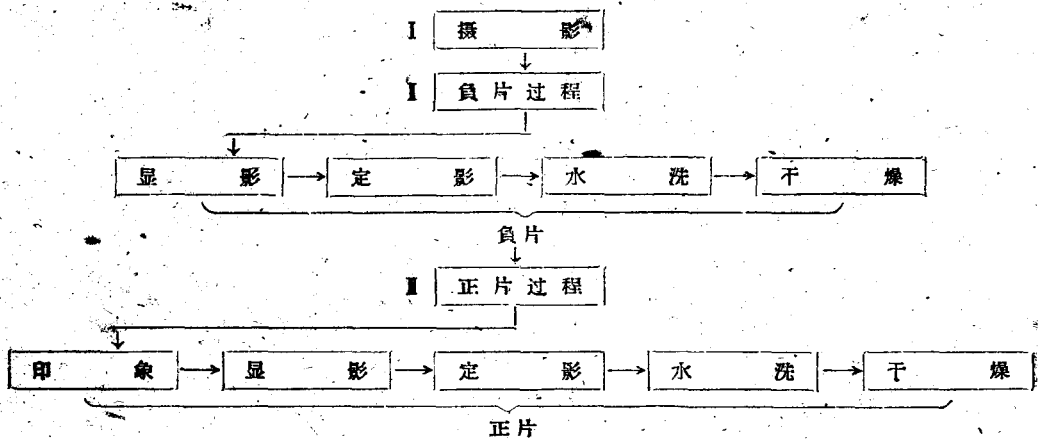


图1-2. 摄影技术过程

I. 摄影过程。首先把摄影机置于被摄影物体的对面，并调节物镜的焦距使构象清晰（又叫做“对光”），然后，关上物镜，并在焦面的位置上安装感光材料，再打开物镜使感光材料曝光。这种通过摄影机曝光的过程称为摄影过程。

II. 负片过程。涂布在玻璃（硬片）或赛璐珞（软片）上的感光层是一层很薄的含有卤化银晶体的明胶层。经曝光以后，受光作用的卤化银便还原为金属银。受光多的部分其金属银还原就多，还原出来的金属银便形成了影象。由于这种影象肉眼不能看见，故称为潜象。

潜象可以用显影的方法使它变成可见的影象。如果将已曝光的感光片浸入专门的溶液（显影液）内，经过一定时间后，便呈现出黑色的影象，这个过程简称为“显影”。随着显影时间的增加，黑色的影象会逐渐加强。如果及时结束显影，并将它放入定影液内溶去残余的溴化银，便可得到稳定的可见影象，这个过程简称为“定影”。

在定影结束以后，必须用清水洗去感光层上残留的定影液。经一定时间水洗后，再使其干燥。

利用显影、定影、水洗和干燥后在感光片上得到可见影象的过程称为负片过程。经过上述处理所得的底片称为负片。负片上浓黑的部分即相当于被摄物体的光亮部分，而透明部分即相当于被摄物体的阴暗部分（图1-3），亦就是说，负片上的色调与被摄物体的色调刚好相反，负片的名称即由此而来。

III. 正片过程。负片一般不是最终的成品，因此必须把负片上的影象转变为正象，也就是要利用涂有感光层的象纸紧贴在负片上进行印象。光线通过负片上不同黑度后，透射的光线也就强弱不等，这些光线在象纸的感光层上起作用而形成潜象。以后用处理负片的同样过程使它转变为可见的影象。

上述处理过程称为正片过程。正片过程可得的是正象。正片上浓黑的部分在负片上是透明的部分，而光亮部分在负片上是黑暗的部分。如果正象与被摄物体直接比较，则刚好是相同。所以，正象就是摄影物体的恢复（如图1-4），也就是摄影的最后成果。

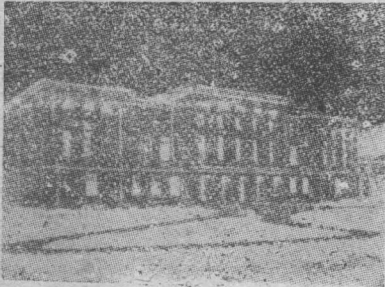


图1-3. 负片

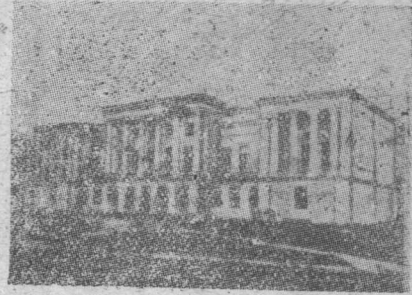


图1-4. 正片

§1.3 摄影在科学技术中的应用

摄影在初期只是应用在一般人象、建筑物和风景摄影。后来随着摄影技术的发展，它的应用范围也逐渐扩大了，到目前为止差不多已成为很多生产部门和各种科学技术研究不可缺少的重要工具了。

现将应用摄影的最主要的几方面举例说明如下：

在天文观察上可以利用摄影来代替肉眼观察，因为感光片有光能积贮的作用，它能借曝光时间的增加来发现天空的微小星球（这种星球即使用最好的望远镜也不能看到）。将历年来的对天体同一部分的摄影成果作比较，可以研究出星座位置的变化；特别是对天体瞬间变化现象（如日蚀、月蚀、彗星等）的摄影，提供了事后从容研究的资料。目前对于宇宙飞行的研究也是采用摄影记录为科学资料。

光谱仪是科学研究中应用甚广的一种仪器，一方面它可以用于精密的化学分析和物理分析，另一方面，它又能供大型机器制造厂作所谓快速分析。在绝大多数情况下，都是将所得的光谱摄成照片，然后正确的测定光谱图片，按照量测的结果就可以对原子内部正在进行的复杂过程以及对所分析的材料成分得出结论。摄影干片能感受肉眼所不能感受的辐射线，这一点对分光摄影是非常重要的。

显微摄影是科学和经济方面的一个很重要的应用。近来，已几乎没有一个科学实验室和生产实验室不运用显微摄影了。例如在物理化学和生物学中对微小结构和组织的研究，工业中生产材料的结构和组成的研究等等，都要采用显微摄影。此外显微摄影对摄影乳剂和感光层的结构以及显影过程来说，也具有很大的意义。最近显微摄影还可用电于显微镜摄取。

X光摄影除了在医学上应用作为各种不能观察的人体内部组织的病害研究以外，还在技术中应用作材料和产品结构的研究。

在印刷业中，插图和其他的摄影制版都靠摄影进行。最近用摄影排字法来代替人工

和机械排字。因此可以说，摄影是现代印刷业的基础。

电影摄影是极其重要的摄影部门。它不仅具有巨大的社会政治作用，而且也广泛的应用于科学技术的研究。

空中摄影在国民经济中的作用是非常巨大的。目前不仅测量工作者和制图工作者为了编制地图需要采用它，而且地质、勘察、地理学、建筑和土地改良等方面也都要用到它，在所有应用空中摄影的情况下，都是为了得到精确制图、设计和判读使用的基本原始资料——航摄负片。

空中摄影在军事上的作用也很大。现代的战术中，阵地的布置，敌后情况的侦察以及战果的了解等等，几乎没有不拿空中摄影资料为依据。因此可以说，空中摄影在军事上也是一种重要的工具。

第一部分 攝影的一般原理

第二章 攝影機

§ 2.1 攝影機的基本結構

攝影機是使被攝物體在感光層上構成光學影像的工具。組成攝影機的主要部件有：物鏡、不透光的裝腔以及暗匣（或毛玻璃）。圖 2-1 表示攝影機結構的略圖。在底座（1）上裝有兩個相互平行而且垂直於底座的框架，即前框和后框。前框（2）裝有物鏡（3），后框（4）裝有毛玻璃（5）。在前后兩框之間用折皺的裝腔（6）聯系着。當變動物鏡與毛玻璃之間的距離時，裝腔也隨之伸長或縮短。這樣在毛玻璃上就可以得到清晰的構像。

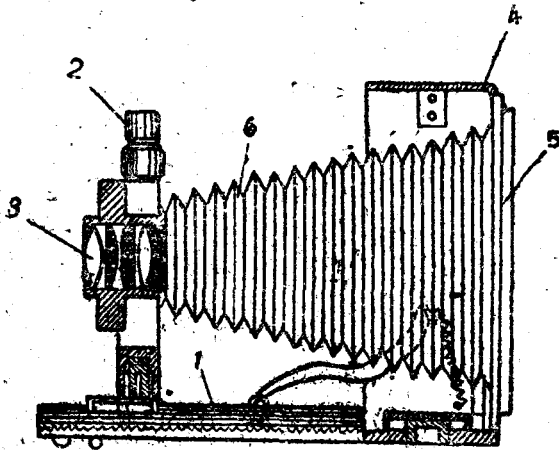


圖 2-1. 攝影機結構略圖

暗匣內裝有感光材料，攝影時取下毛玻璃改放暗匣（毛玻璃與暗匣內的感光材料，其位置是吻合的）。除了上述這些部件外，還有其他的零件裝置。

用其他方法來調節構像清晰等等。這些改變雖然與攝影機的基本結構型式不相同，然而其原理還是基本相同的。

圖 2-1 所示的略圖，只是表示攝影機的基本結構型式，在實用上可以有各種多樣的。例如將物鏡框和暗匣部分共同固聯在側壁上，工作時不移動暗匣而移動物鏡來調節構像清晰，又如目前有些攝影機已不用毛玻璃，而是

用其他方法來調節構像清晰等等。這些改變雖然與攝影機的基本結構型式不相同，然而其原理還是基本相同的。

§ 2.2 透鏡和它的特性

所謂攝影物鏡是由正透鏡或者正和負的透鏡所組成的光學系統。在這光學系統的焦面上能得到被攝物體的實像。

最簡單的結構也有用一個透鏡作為物鏡的。

透鏡是由兩個球面或平面與球面交割而成的光學玻璃。

光学玻璃是由特种的光学玻璃制造工业制造的，按照化学成分，光学玻璃分成两个基本类型：折射率自 1.45 到 1.6 的冕玻璃和折射率大于 1.6 的火石玻璃。

各种物镜要求各种不同折射率的光学玻璃，因此工厂出品了大量不同品种的光学玻璃。

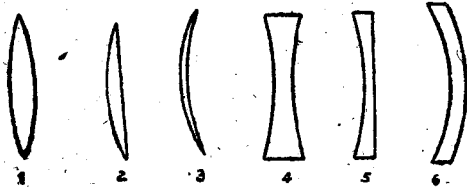


圖 2-2. 各种透镜形式

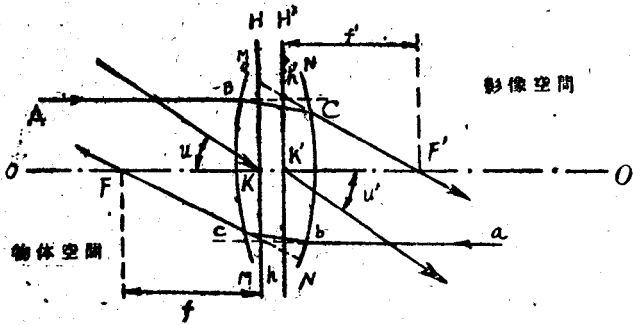


圖 2-3. 双凸透镜中主平面的建立

焦点分后主焦点 F' 和前主焦点 F 。前者是由被摄物体的空间射出的平行于主光轴的光线 AB 通过透镜后，其折射光线与主光轴的交点；而后者是由影像空间发出的平行于主光轴的光线 ab 通过透镜后与光轴的交点。

圖 2-3 表示在空气中的双凸透镜。設有一条平行于主光轴 OO' 的光线 AB 进入透镜。在第一个透镜面 MM 折射后偏向光轴并与第二个透镜面 NN 相交于 C 。光线在 C 点折射又向光轴偏倾并与它相交于后主焦点 F' 。

如果將光线 AB 向 B 方延長，即不顧及它在表面的折射。同时也將由透镜折射的光线向相反方向延長，即使 CF' 向 C 方延長，則得到延長线的交点 k' ，这 k' 的位置依据光线在 B 和 C 点的折射程度而定。現在如果顧及在 B 和 C 点的折射，而又設想光线在透镜中沒有折射，而是在 k' 点偏倾；这个偏倾的大小完全相当于在 B 和 C 点的两次折射。

通过 k' 作一垂直于主光轴的平面 H' ，此平面称为后主平面。它与主光轴的交点称为后主点 K' 。

同样可以从影像空间引一条平行于主光轴的光线 ab 投射于透镜表面 NN ，通过透镜后交于 F 点。

根据覓取 k' 点的同样方法可找到 h 点，并且由 h 点确定前主平面 H 和前主点 K 。

透镜有六种型式（圖 2-2）。即双凸透镜（1），平凸透镜（2），凹凸透镜（3），双凹透镜（4），平凹透镜（5）和凸凹透镜（6）。这六种透镜又分成正负两类，前三种形式（1, 2, 3）是中部厚而边缘薄，属于正透镜或称会聚透镜，后三种形式（4, 5, 6）是中部薄而边缘厚，属于负透镜或称发散透镜。

限制透镜表面形状的两个球面的中心的联线称为主光轴 OO' 。平行于透镜主光轴的光线通过透镜后与光轴的交点称为主焦点（圖 2-3）。

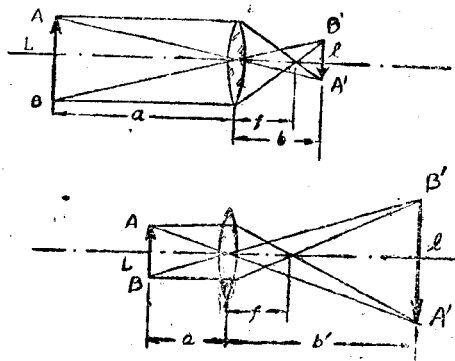


圖 2-4. 構像大小与物距和像距关系

对于薄透镜而言，焦距可用下列公式表示：

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2-1)$$

或

$$f = \frac{r_1 r_2}{(n-1)(r_2 - r_1)}$$

分数 $\frac{1}{r_1}$ 和 $\frac{1}{r_2}$ 是相当于透镜第一平面和第二平面的曲率。 (2-1a)

如果透镜表面的曲率中心落在右边，则它的曲率为正；而曲率中心落在左边则为负。

摄影时常常要计算，例如：确定毛玻璃和物镜的相对位置，计算放大倍数或缩小倍数以及其他等等。这些计算可以应用透镜公式：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (2-2)$$

式中 f 为主焦距， a 为物体和透镜之间的距离， b 为透镜到影像之间的距离。知道其中两个数据便可按公式算出第三个数值。为计算方便将公式(2-2)化成：

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{ab}{a+b} \\ a &= \frac{bf}{b-f} \\ b &= \frac{af}{a-f} \end{aligned} \right\} \quad (2-2a)$$

在某些情况下（放大或缩小时），确定 a 和 b 最好采用另外的公式。

由图 2-4 看出：物体的长度 L 在像片上相应的影像长度 l ，比值 $\frac{l}{L} = \beta$ 叫做直线放大率；假如： $\beta > 1$ ，则放大； $\beta < 1$ ，则缩小。

由 a 、 b 和 f 数值的关系公式(2-2)可以导出 a 、 f 、 β 之间以及 b 、 f 、 β 之间的关系公式。

因为

$$\beta = \frac{l}{L} = \frac{b}{a}$$

主点具有这样的特性，每条向前主点投射的光线必经过后主点并平行于投射光线而出射，也就是说经过后主点的光线与光轴的交角 u' 等于投射光线与光轴的交角 u 。

透镜焦点与主平面间之距离称为主焦距，同样在物方的称为前主焦距 f ，而在像方的称为后主焦距 f' 。

透镜的焦距是由曲率半径的大小和方向以及玻璃折射率而定。

$$\therefore \frac{1}{a} = \frac{\beta}{b} \quad \text{或} \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{a\beta}$$

把 $\frac{1}{a}$ 的等值 $\frac{\beta}{b}$ 代入透镜公式，得

$$\frac{\beta}{b} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

于是得

$$(\beta + 1) = \frac{b}{f}$$

即

$$b = f(1 + \beta) \quad (2-3)$$

同样将 $\frac{1}{b}$ 的等值代入透镜公式可得

$$a = f\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-4)$$

知道了 f 和 β ，就可应用(2-3)和(2-4)式算出 b 或 a 的数值。

§ 2.3 單透鏡在光学上的缺点

按照几何光学的原理，一个理想透镜的构像关系，应当是使物平面上的每个物点，通过透镜后在像平面上都有一个相应的像点。要达到这点，就必须要求透镜本身是一个不使光线弯曲的小孔，即使这样，严格的說来还是一个衍射花样。根据高斯原理，透镜的构像条件是只限于近轴光线，但实际上，一个单透镜构像时，总是包括一部分斜射光线，因此，造成不能按照成像原则构像的缺点，这种现象称为像差。

由于像差的存在，使得任何一个单透镜都不能构成完全正确的影像，因此摄影物镜通常是由两个或者更多数目的透镜组合而成；这样可以大大的改善构像质量。

单透镜在光学上有下列几个基本缺点：球面像差、彗形像差、像散差、像场弯曲、畸变差和色差。现将这些缺点以及对它们的消除方法简单的分别叙述如下：

(一)球面像差 球面像差是由于离主光轴距离不同的光线，其折射率不等所产生。我们可以把透镜看成是由许多截去顶角的稜镜迭合体。每一个稜镜各有其顶角 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ (圖 2-5)。从几何光学知道，稜镜的顶角 α 与稜镜的偏向角 δ 存在着下列关系：

$$\delta = (n - 1)\alpha$$

式中 n 为稜镜折射率，从公式中可以明显的看出，稜镜的顶角愈大，其偏向角也就愈大。在凸透镜中边缘稜镜的顶角最大，所以通过透镜边缘部分的光线折射较大，而通过中央部分的光线折射较小。于是透镜的每一个圆环部分的焦点各自不同。这样就使点的影像变成圆斑，影响到构像的清晰度。球面像差愈大，毛玻璃上的影像就越模糊。

发散透镜的球面像差方向和会聚透镜相反，因此球面像差可用会聚透镜和发散透镜

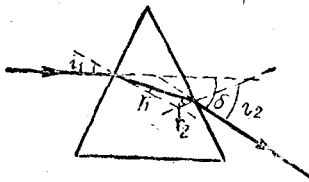
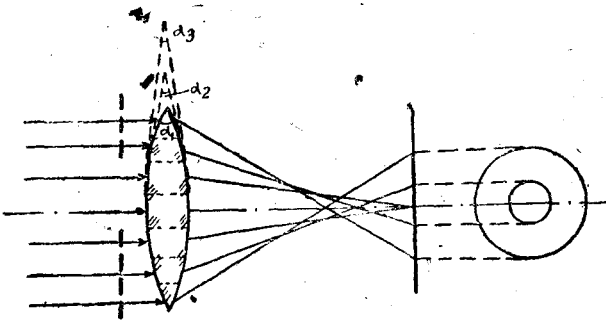


圖 2-5. 球面像差簡圖

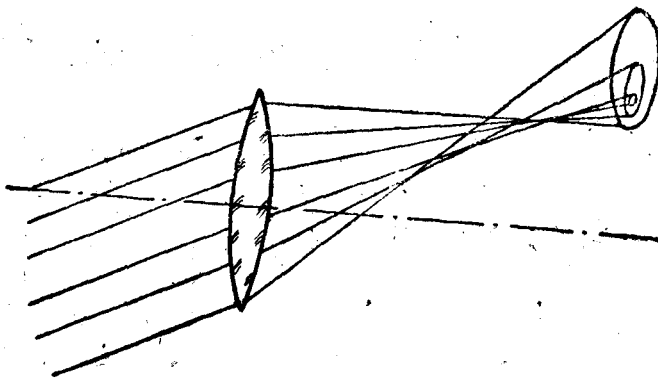


圖 2-6. 彗形像差

相組合的方法来消除。除此之外，阻挡物鏡边缘部分的光綫的通过，也可以大大的减小球面像差，这就是利用特殊的装置——光圈，縮小透鏡表面的露出部分。

(二)彗形像差 光綫平行于光軸前进，則产生上述的球面像差，假如光綫以某一个角度向光軸傾斜前进，也会产生球面像差的現象。但这时所产生的將不是散开的圓斑，而变成逗号的形状(如圖2-6)。光斑的亮度头部最强而后部較弱，如彗星尾巴一样，因此这种像差称为彗形像差。

彗形像差可以用光圈限制边缘光綫的通过而使它减小，同样也可用两个透鏡組合的方法来消除。消除球面像差和彗形像差的物鏡称为消球差物鏡(Апланат)。

(三)像散差

假如有一光点 S (圖 2-7) 位于光軸之外發出一束光綫投射于透鏡表面为 $abcd$

的区域，根据几何学中的原理，曲面上任意一点一定具有它的極大和極小的二个曲率半徑的截綫，并且这二条截綫必定是相互垂直的。在圖 2-7 的 $abcd$ 中，徑向截綫 ab 和 cd 的曲率半徑为最小，而子午綫方向的截綫 ac 和 bd 的曲率半徑为最大。因此 ab 和 cd 的折射比 ac 和 bd 的折射大。这样所有徑向面内的光綫通过透鏡之后均交于徑向焦綫 MM_1 上，所有子午面内的光綫通过透鏡之后則均交于子午焦綫 NN_1 上，而 MM_1 距透鏡之距离比 NN_1 为近。假如置焦面于 MM_1 处，則 S 点的構像为一条清晰的綫段 MM_1 和一条模糊的綫段 NN_1 。同样如將焦面置于 NN_1 处，則 NN_1 清晰而 MM_1 模糊。若將焦面置于 MM_1 和 NN_1 之間，則 S 点的構像为模糊的一“+”字形。由此可知，不論將焦面置于任何位置，均不能得到 S 点的点狀的構像，这种現象就称为像散現象。徑向焦

綫 MM_1 与子午焦綫 NN_1 之距离就称为像散差。像散差是随着光束与主光軸的傾角增大而增大。如果利用这种像差的透鏡攝影，就不可能得到清晰的影像。

像散差是最难消除的缺点，要消除它必須适当的選擇透鏡的曲率半徑、厚度、折射率和透鏡間的距离，消除像散差的物鏡称为消像散物鏡（Анастигмат）（像場弯曲一般也同时消除了）或称正光物鏡。

像散差只有当其余像差都消除得很好的时候，才能做到彻底的消除。因此很好消除各种像差的复合物鏡通称为正光物鏡。

（四）像場弯曲 透鏡的構像不是一个平面而是一个曲面，也就是說傾斜光綫的焦点和平行于光軸的光綫的焦点不是在一个平面上，而是在一个曲面上。这种像差称为像場弯曲（圖 2-8）。这时如果承影面放在 I 的位置，則中央構像清楚而边緣模糊。反之，承影面若放在 II 的位置，則得中央模糊而边緣清楚。我們要得到同时清楚的構像，除非將底片面做成曲面。实际上这是不可能的。像場弯曲可以用会聚透鏡和發散透鏡的适当配合来消除。

（五）畸变差 前面所述的几种像差都是影响構像的清晰度。如果把它們都消除了，則垂直于主光軸的平面內的各物点，必在垂直于主光軸的相应像面上各得到清晰的像点。但是像面上各像点間的相互位置关系，并不与物面上相应的各物点間的位置关系相同，也就是像与原物不相似，这种现象称为影像畸变。所謂畸变差是指实际像点到主光軸之距离与理想像点到主光軸距离之差。畸变差有正畸变和負畸变两种。如果光圈置于透鏡之物方，則方格網的構像变成桶形（如圖 2-9b）即負畸变。反之，光圈置于透鏡之像方，則变成枕形（圖 2-9a）即正畸变。这两种形式是相反的，因此消除这种像差，可將两个單透鏡或相同的透鏡組对称的組合起来，而光圈就放在对称組合的透鏡之間。畸变差使構像变形，影响攝影测量的精度，故测量用之物鏡应使其畸变差消除至極小。

（六）色差 由一点發出的白色光束，通过透鏡后在毛玻璃上的構像不是一个清晰的点，而形成繞有虹彩圓环的光斑，这种现象称为色差（圖 2-10）。当毛玻璃沿着光軸稍許移动时，圓环的颜色会改变。例如將毛玻璃放在位置 I 时，最外圓环的颜色为紅色，中心为紫色。將毛玻璃移至 II 时，則最外圓环颜色变为紫色，中心为黄色。

从公式 (2-1) $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ 看出，透鏡的焦距决定于透鏡的曲率半徑和

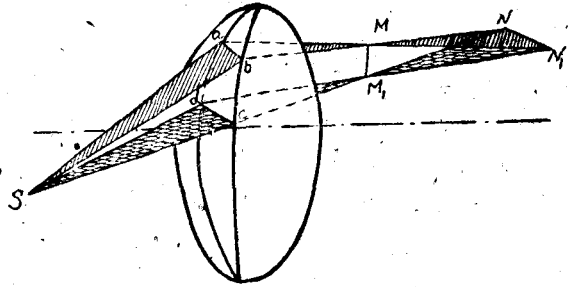


圖 2-7. 像散差

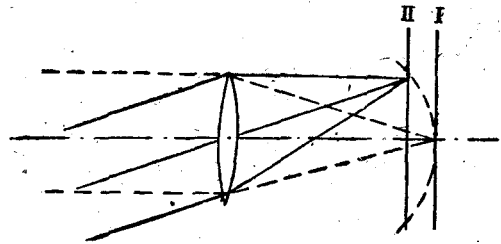


圖 2-8. 像場弯曲

折射率。而对于同一透镜而言，则不同色光就有不同的焦距。蓝光折射最大，红光折射最小；因此，蓝色光线的焦距比红色光线的焦距小。其余色光的焦距都介于二者之间。因为肉眼对黄绿光线较敏感，所以对光时我们总是不自觉地把毛玻璃调节在最明亮的黄色光线相交的平面上，结果得出一个绕以紫色边的明亮圆环。因为感光材料的天然感色性主要是在蓝紫色范围，而肉眼感觉最明亮的，却是黄绿色光线，所以色差的消除就更加重要了。

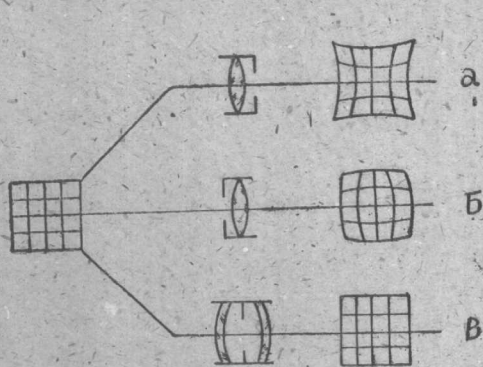


圖 2-9 畸变差

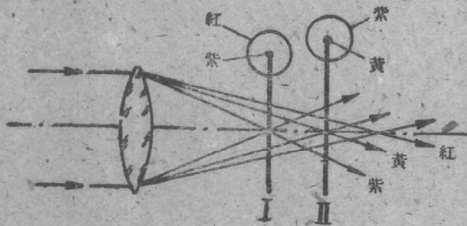


圖 2-10. 色差

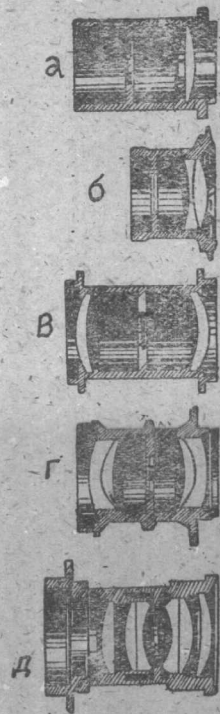


圖 2-11. 物鏡类型

利用折射率较大的发散透镜和折射率较小的会聚透镜相组合。可使色差降低至不可觉察的程度。

色差消除的程度可能是不同的。如果仅仅使紫色光线和黄色光线的焦点趋于一致，则得无色物镜(Ахромат)。如果再使红光的焦点与它趋近，则得复无色物镜(Апохромат)。

一个摄影物镜，是由许多透镜精确组合而成，从物镜的发展历史来看，这种组合形式是逐渐从简单走向复杂。在初期是一种简单的新月形物镜(圖 2-11a)，物镜内只是一个会聚透镜。这种物镜很容易制作，但它具有一个单透镜所有的缺点。到了1849年人们用冕牌玻璃制作双凸透镜，用火石玻璃制作双凹透镜，将两者胶合成一种主要是消除色差的无色物镜(圖 2-11б)。由于双凸透镜与双凹透镜的组合，消除了球面像差，但由其他原因引起的畸变变形的像差仍然存在。1866年才制作出一种对称组合形式的物镜，光圈

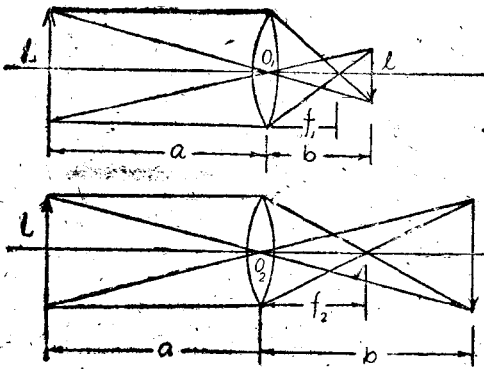


圖 2-12. 焦距与影像比例尺的关系

置于中間(圖2-11z)。这种物鏡既消除了畸变差也消除了色差及球面像差。至于其他二种像差，像場弯曲及像散差，只要透鏡組合間的距离选择恰当也可消除其中一种；不能两种一起消除。直至1886年德国蔡司耶那厂制造出一种新品种玻璃，利用这种玻璃的不同折射率和色散率的关系，制成了正光物鏡(圖2-11π)，这样才消除了所有的像差。

§ 2.4 攝影物鏡的焦距

攝影物鏡有下列几个主要特征；(1)焦距；(2)相对孔径和透光力；(3)視場、視角和像場、像角；(4)分解力。这些特征將直接或間接影响到構像，因此將在下面几节中分別討論之。

一般攝影机的物鏡焦距都标註在物鏡的鑲框上，例如 $F=11$ 厘米等。一个物鏡的焦距，可以根据几何光学上的几种近似方法确定。

物鏡焦距的大小是直接影响到攝影比例尺的，假如以两个不同焦距的物鏡在相同的距离上攝取同一物体，則其所得的影像大小是不同的；如圖2-12可知，長焦距物鏡所得的影像較大。

影像比例尺可用下列公式表示：

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{b}{a} \quad (2-5)$$

依透鏡公式：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

知当 a 很大时，則 b 趋近于 f ，故

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{a} \quad (2-5a)$$

对于航空攝影來說，式(2-5a)的物距 a 就是相当于飞机的航高 H ，通常 H 是很大的数值，故航空攝影时影像比例尺可写为：

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (2-5b)$$

根据上式知：当 H 为一定时， f 愈長，影像比例尺 $\frac{1}{m}$ 就愈大，反之則小。

焦距的大小还决定了像面照度和景深，关于这一点將在下面几节中討論。

§ 2.5 相对孔径和透光力

像点是通过物镜光孔的光束所形成的圆锥体的顶点，当其他条件都相同时，像点的亮度决定于限制光束的光孔大小，光孔直径愈大，透光的面积就愈大；参加构像的光线也就愈多，而在感光层或毛玻璃上的像愈明亮，从整个像面来看，两个焦距相同的物镜（如图 2-13），其中光孔直径较大的，其影像亮度较大。由于光孔的面积与光孔直径平方成正比，故物镜光孔直径大两倍，则影像亮度大四倍；光孔直径增大至三倍，则影像亮度必加大至九倍。由此得影像的亮度与光孔直径平方成正比。

物镜的焦距也影响到影像的亮度。这个关系可用图 2-14 来说明。图中 O_1 和 O_2 为两个不同焦距的物镜，其所开的光孔大小相等，即 $d_1 = d_2$ 。假定物镜 O_2 的焦距比 O_1 的焦距大两倍，则当物体位于远距离时，焦距大两倍的物镜 O_2 构像要比 O_1 的构像大两倍。

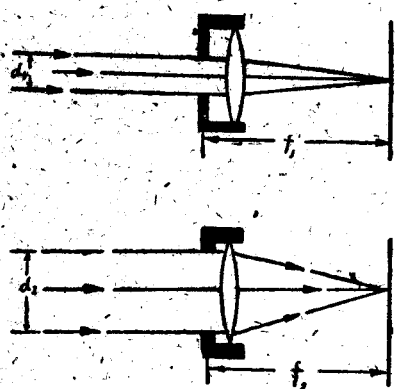


图 2-13. 光孔大小与影像亮度关系

$$\begin{aligned} f_1 &= f_2 \\ d_1 &= d_2 \end{aligned}$$

$$2^2 = 4$$

。如按构像的面积而言，则前者构像所佔的面积要比后者构像所佔面积大四倍。这样通过等大光孔的相等数量的光线分配在不同大小的像面上，则所得影像亮度就不等；若构像面积大四倍，则影像亮度就要小四倍。由此得影像亮度与焦距平方成反比。

综合上述的两个关系，可以认为物镜的透光力与其光孔直径 d 平方成正比，而与焦距 f 平方成反比，即：

$$\text{物镜透光力} = \frac{d^2}{f^2} = \left(\frac{d}{f}\right)^2 \quad (2-6)$$

上式括号内的分数 $\frac{d}{f}$ 是光孔直径与焦距的比例关系，称为物镜的相对孔径。

光孔的大小可由光圈来调节。大多数物镜最大光孔直径是小于焦距的，假设分子为 1，分母为 f/d ，则得：

$$\frac{d}{f} = 1 : \frac{f}{d}$$

式中 $\frac{f}{d}$ 是物镜焦距除以它的光孔直径之商，称为相对孔径的分母。 $\frac{f}{d}$ 值表示物镜的焦距比它的光孔直径大了多少倍。例如，若 $f = 11$ 厘米，而光孔直径 $d = 24.5$ 厘米，则相对孔径为：

$$1 : \frac{f}{d} = 1 : \frac{11}{24.5} = 1 : 4.5$$

最大相对孔径以分数形式 $1 : \frac{f}{d}$ 写在物镜框上，例如在物镜框上标註 $1 : 4.5$ ，就是

說焦距是最大光孔直徑的四倍半。有时 1:4.5 写成 $F:4.5$ 也具有同样意义。

从公式 (2-6) 可知, 物鏡的透光力与相对孔徑成正比, 因此要比較两个物鏡的透光力, 不是以两个物鏡的相对孔徑直接相比較, 而应当取它的平方相比較。例如: 比較相

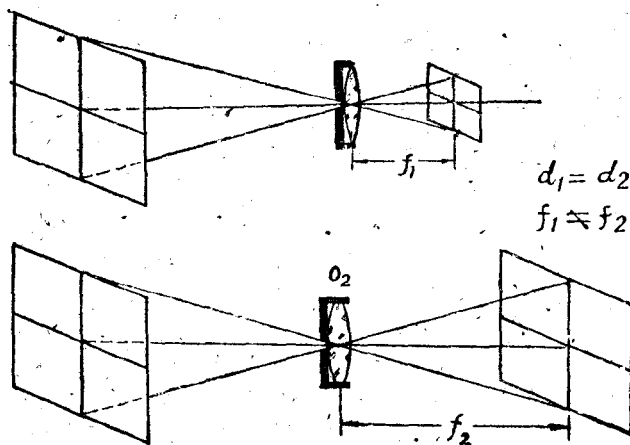


圖 2-14. 焦距大小与影像亮度的关系

对孔徑为 1:4.5 和 1:2 的两个物鏡的透光力, 則应按下法計算:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{\left(\frac{f_1}{d_1}\right)^2} : \frac{1}{\left(\frac{f_2}{d_2}\right)^2} = \frac{1}{2^2} : \frac{1}{4.5^2} = \frac{1}{4} : \frac{1}{20.25} \approx 5$$

由此可知 1:2 的物鏡透光力要比 1:4.5 的物鏡透光力大五倍。很明显相对孔徑分母愈大, 則物鏡透光力就愈弱。

按照物鏡相对孔徑大小, 可將物鏡分成四类:

- 超强透光力物鏡.....相对孔徑为 1:2.8 以上
- 强透光力物鏡.....相对孔徑自 1:3.5 到 1:5.8
- 普通透光力物鏡.....相对孔徑自 1:6.3 到 1:9
- 弱透光力物鏡.....相对孔徑小于 1:9

根据 (2-6) 式, 只要知道光孔直徑 d 和焦距 f 就可以求出物鏡的透光力来, 但是光孔直徑和焦距都不能单独的作为透光力来度量。

物鏡的透光力还不能完全准确的表示出影像的亮度, 因为当光綫通过物鏡时, 有一部分要被物鏡的玻璃吸收, 另一部分要被物鏡表面反射。这些在物鏡內損失的光綫不仅不能参加構像, 而且还影响到構像質量。复杂物鏡光綫的損失要达到 20—35%。因此, 确定物鏡透光力时, 应当考虑到光在物鏡內的損耗。一般用下式来求得由物鏡射出的光綫的亮度与进入物鏡的光綫亮度間的比例关系:

$$K = \frac{\text{由物鏡射出的光綫亮度}}{\text{进入物鏡的光綫亮度}}$$

式中 K 称为透光系数。于是物鏡透光力的实际有效值应为:

$$\text{物鏡透光力} = \left(\frac{d}{f}\right)^2 \cdot K$$

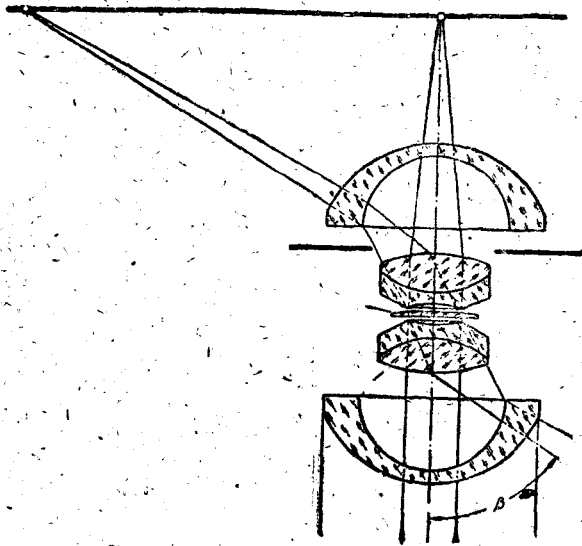


圖 2-15. 寬角物鏡(Pyccap-29)

為了減少光在反射和吸收方面的損失，生產中採用了加膜的 optical 系統。所謂加膜就是在光學玻璃的表面塗上一層氟化物的薄膜。薄膜的作用是減少光在物鏡表面的反射。普通攝影的加膜物鏡在物鏡框上都有特殊標記，如紅字“T”或“L”；蘇聯物鏡則用“П”表示。

對於同一個物體，其亮度與照度成正比，故物鏡焦面的照度與相對孔徑和係數 K 有關，但除此之外，照度還受光束與主光軸的交角所影響，使焦面照度不均勻。焦面的中央部分照度最大，其餘部分的照度則隨離開中央部

分的近遠而逐漸遞減。它們之間的關係可用下式表示之：

$$E_{\omega} = E_0 \cdot \cos^4 \omega \cdot K_B$$

式中 ω 為投射到離像片中心某個距離的像點的主光線與主光軸的交角。 E_0 為像片中央的照度。 E_{ω} 為與主光軸組成 ω 角度的傾斜光線的照度。 K_B 為漸暈係數，它是由於在光線的傾角 ω 的影響下，物鏡的鑲框擋住一部分光線而引起的；其數值的大小取決於光線的投射角和物鏡鑲框的長度。普通物鏡的邊緣光線的漸暈係數均在 50% 以下。

蘇聯 M.M. 露西諾夫設計的露沙爾(Pyccap-29)物鏡是一個非常突出的物鏡。它不僅有廣寬的視角(達 122°)，而且具有均勻的焦面照度。他所設計的物鏡，其焦面的照度不是以 $E_0 \cos^4 \omega$ 的關係從中央向邊緣下降，而是按相應數值 $E_0 \cos^3 \omega$ 下降，這樣照度就均勻得多。最近露西諾夫已設計出焦面照度更加均勻的，即是相應於 $E_0 \cos^2 \omega$ 數值的物鏡。

§ 2.6 光圈和景深

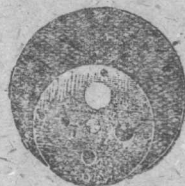
光圈 光圈是由金屬或硬橡皮薄片做成的可以改變直徑大小的圓形光孔的光關。它的作用是在調節物鏡有效面積的大小，控制進入物鏡的光量以及調整前景與背景之清晰範圍。

光圈可分為下列三種結構形式：

(一)插入光圈(如图 2-16a) 它是中央开有一定大小圆孔的金属薄片,可以插在物镜镜框的切口内,通常这种光圈备有一套,每一个的光孔大小都不相同,目前除复照物镜附有这种光圈外,其他摄影物镜都不采用。



(a)



(b)



(c)

图 2-16. 各种光圈形式

(二)旋转光圈(如图 2-16b) 旋转光圈是一个有着大小光孔的可转圆盘。

(三)虹形光圈(如图 2-16c) 它是一种最新式而目前最普遍采用的光圈。它是由许多弧形的金属薄片组成;这些薄片一端各自固定在物镜框上,另一端则固定在可转动的公共圆环上,当圆环旋转时,由金属片所组成的圆孔便随之缩小或放大。光圈收缩或张开时,物镜的有效孔径(有效光孔面积的直径)也跟着改变,相对孔径随之改变。为了计算曝光时间方便起见,物镜框上都标注有各个相对孔径的分母数值($\frac{f}{d}$),称为光圈号数(以 k 表示之)。标注在物镜框上的光圈号数有两种排列方法:

国际系统: 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32;

欧洲大陆系统: 1.6, 2.2, 3.2, 4.5, 6.3, 9, 12.5, 18, 25, 36。

上面两个数列都是以 $\sqrt{2}$ 为公比的等比级数;因此当光圈号数由一个转换到邻近一个时,则曝光时间要增大或缩小两倍。例如由 8 转换到 11, 则焦面照度将差两倍;因为:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{k_2^2}{k_1^2} = \frac{(11)^2}{(8)^2} = \frac{121}{64} \approx \frac{2}{1}$$

式中 E_1 ——当光圈号数为 8 时焦面的照度,

E_2 ——当光圈号数为 11 时焦面的照度。

由此可知,光圈号数愈大,焦面的照度愈小。

在同一光照条件下摄影,有时为了某种原因需要改变光圈,但由于感光层所要求的曝光量是一定的,因此必须改变曝光时间,使前后的曝光量相等,即:

$$E_1 \cdot t_1 = E_2 \cdot t_2$$

式中 t_1, t_2 为曝光时间,上式还可改写为:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{k_1^2}{k_2^2}$$

由此可知,当一切条件相同时,曝光时间与光圈号数成正比。

例：在某光照条件下摄影，原来准备采用光圈号数 5.6，计算曝光时间用 $\frac{1}{100}$ 秒就足够，若将光圈号数改变至 11，则应采用多少曝光时间才合适？

按上式

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{k_1^2}{k_2^2} \quad \text{得：}$$

$$t_2 = \frac{t_1 k_1^2}{k_2^2} = \frac{1}{5.6^2} \times 11^2 \approx \frac{1}{25} \text{ 秒}$$

景深 根据光学的透镜公式 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 知，当摄取某一物距为 a 的景物时，只有当像距为 b 时方能得到清晰的构像，而物距若大于 a 或小于 a 的其他景物，在焦面上的构像都是模糊的。但实际上，在物距 a 的前景的一定距离处和在物距 a 的后景的一定距离处，只要其构像的模糊圆直径不大于 0.1 毫米时，肉眼看来还是清晰的。因此我们可以说，当摄取一有限物距之景物时，若景物的前面最近处与后面最远处之间的景物其构像都是清晰的（指模糊圆在一定容许范围内），则此最近处与最远处之间的距离称为景深。

景深大小取决于下面三个因素：

1. 物镜有效孔径的大小：孔径愈大，景深愈小。
2. 物镜焦距的大小：焦距愈长，景深愈小。
3. 物距的大小：物距愈大，景深愈大。

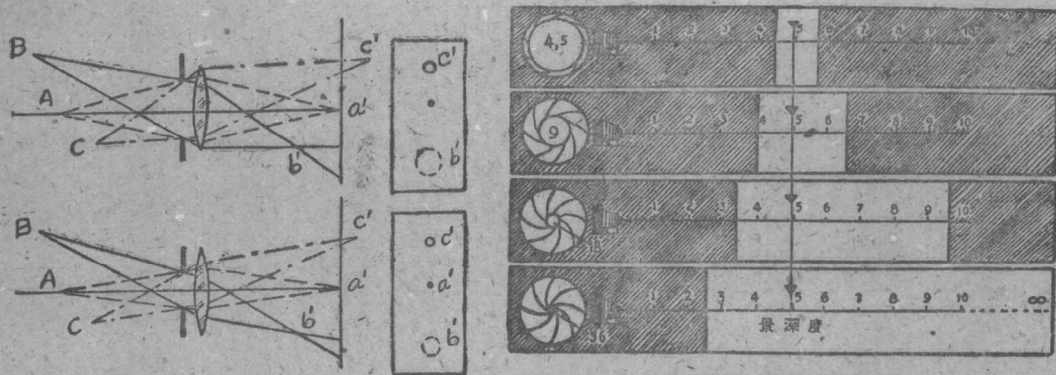


圖 2-17. 光圈对景深的影响

圖 2-17 左面部分表示有不同物距的三个点 A 、 B 和 C ，当将毛玻璃移在 A 点的共轭焦点 a' 处时，则 A 点的构像为一点 a' ，但 B 和 C 点的构像却为模糊圆，假如缩小光圈时（如图 2-17 左面下方部分），则模糊圆就可缩小，反过来说，当光圈缩小时，景深就增大。

当物镜调节焦距于无限远时，结果不仅远处物体的构像清晰，而且在离物镜不小于某一个距离 H 的所有物体的构像都清晰，这个距离 H 就称为超焦距（或称无限远超

点)。

超焦距的计算,可由图2-18导出。图中假设 F' 为无限远点的像点, A' 为超焦距上的 A 点的像。如果在通过 F' 点的像面内 A 点所构成的模糊圆直径为 ε , 而光孔直径为 d , 则:

$$\frac{d}{\varepsilon} = \frac{b}{b-f}$$

但从公式 (2-2a) 知:

$$\frac{b}{b-f} = \frac{a}{f} = \frac{H}{f}$$

则得:

$$H = \frac{d}{\varepsilon} \cdot f \quad (2-6')$$

由上式我们可得出结论:当焦距 f 增大时,超焦距 H 也随之增大,但 H 的增大却意味着景深缩小,反之当 H 减小时,景深增大。

公式 (2-6') 中的光孔直径 d 是不易求得的,因此为了实用上计算方便起见,可以用相对孔径的关系来代入,因 $\frac{f}{d} = k$, 则 $d = \frac{f}{k}$ 代入 (2-6') 式得:

$$H = f \cdot \frac{f}{\varepsilon \cdot k} = \frac{f^2}{\varepsilon \cdot k} \quad (2-7)$$

由上式又可再次证明光圈的大小与景深的关系,当光圈放大时,则 k 缩小,而 H 增大, H 增大表示无限远起点要距物镜远些,因此也即是景深缩小了。

例:如果焦距 $f = 12$ 厘米,光圈数 (相对孔径分母) $k = 9$, 许可模糊直径 $\varepsilon = 0.1$ 毫米,则按 (2-7) 式得:

$$H = \frac{12^2}{0.01 \times 9} = 16 \text{米}$$

根据景深的定义:前景清晰起点与后景清晰终点之间的距离,就是景深。因此要知道景深的大小,首先就必须知道前后景与物镜间的距离。

若对光在任何距离 a 的物体上 (如图 2-19), 则必定从它的前景某一个距离 a_1 开始到后景某一个距离 a_2 的范围内物体的像都能清晰。此距离 a_1 和 a_2 可由图 (2-19) 求得。由相似三角形关系得:

$$\frac{b_1}{b} = \frac{d}{d-\varepsilon} \quad \text{或} \quad b_1 = b \cdot \frac{d}{d-\varepsilon}$$

因 $d = \frac{f}{k}$, 则上式可写为:

$$b_1 = b \cdot \frac{f}{\left(\frac{f}{k} - \varepsilon\right) \cdot k} = b \cdot \frac{f}{f - k \cdot \varepsilon}$$

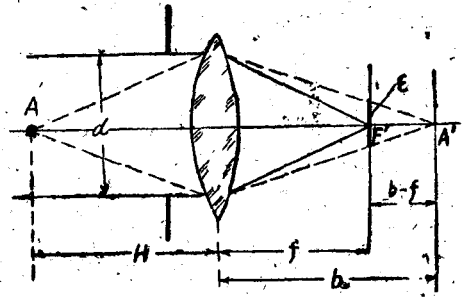


图 2-18. 超焦距

而因 $b = \frac{a \cdot f}{a - f}$ 所以: $b_1 = \frac{a \cdot f}{a - f} \cdot \frac{a f^2}{(a - f)(f - k \cdot \varepsilon)}$

前景清晰起点 C 的物距 a_1 和像距 b_1 的关系为: $a_1 = \frac{b_1 \cdot f}{b_1 - f}$

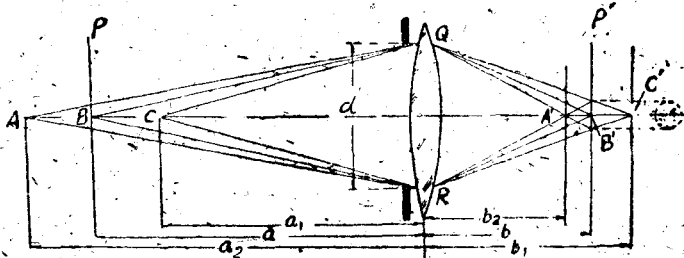


圖 2-19. 导出景深公式的圖解

將 b_1 代入上式得:

$$a_1 = \frac{b_1 \cdot f}{b_1 - f} = \frac{a f^2 \cdot f}{a f^2 - f(a - f)(f - k \cdot \varepsilon)} = \frac{a f^2}{f^2 + k(a - f)\varepsilon}$$

或写成:

$$a_1 = \frac{a f^2}{f^2 + k(a - f)\varepsilon} \quad (2-8)$$

用同样方法, 可求出后景清晰終点之距离 a_2

$$a_2 = \frac{a f^2}{f^2 - k(a - f)\varepsilon} \quad (2-9)$$

因 f 比 a 小得多, 因此上兩式之 f 可略去, 即:

$$a_1 = \frac{a f^2}{f^2 + k \cdot a \cdot \varepsilon} \quad (2-10)$$

$$a_2 = \frac{a f^2}{f^2 - k \cdot a \cdot \varepsilon} \quad (2-11)$$

景深的大小可由前景起点距 a_1 与后景終点距 a_2 之差求得:

$$\Gamma = a_2 - a_1 = \frac{2 f^2 \cdot k \cdot \varepsilon}{\frac{f^4}{a^2} - k^2 \cdot \varepsilon^2} \quad (2-12)$$

从公式 (2-12) 可得出如下結論: 当焦距与光圈号数不变时, 如果物距 a 增大, 則景深 Γ 也随之增大。

例: 假設用 1:4.5 (即 $k=4.5$), $f=11$ 厘米的物鏡攝影, 对准离物鏡 4 米处的物体, 則其景深的前后景距离 a_1 和 a_2 为:

$$a_1 = \frac{a f^2}{f^2 + k \cdot a \cdot \varepsilon} = \frac{400 \cdot 11^2}{11^2 + 4.5 \times 400 \times 0.01} = 348 \text{ 厘米} = 3.48 \text{ 米}$$

$$a_2 = \frac{a f^2}{f^2 - k \cdot a \cdot \varepsilon} = \frac{400 \cdot 11^2}{11^2 - 4.5 \times 400 \times 0.01} = 469 \text{ 厘米} = 4.69 \text{ 米}$$

其景深

$$T = a_2 - a_1 = 4.69 - 3.48 = 1.21 \text{ 米}$$

对于每个摄影机可事先按公式计算好一张景深表，表(2-1)是根据 $f = 75$ 厘米，并假定 $\epsilon = 0.1$ 毫米所算得的景深表：

表 2-1

物鏡所对 准的距离 (米)	光 圈 号 数						
	4.5	5.6	6.3	8	11	16	22
	景 深 (米)						
∞	20— ∞	16— ∞	13— ∞	11.3— ∞	8.2— ∞	5.6— ∞	4.1— ∞
10	6.7—20	6.1—26.7	5.8—30	5.3— ∞	4.5— ∞	3.6— ∞	2.9— ∞
5	4.0—6.67	3.8—7.3	3.7—8.5	3.5—9	3—13	2.6— ∞	2.2— ∞
3	2.7—3.5	2.6—3.7	2.5—3.8	2.4—4	2.2—4.3	1.9—6.5	1.7—11.2
2.5	2.2—2.8	2.16—2.96	2.1—3.0	2.05—3.21	1.92—3.6	1.73—4.52	1.55—6.41
2	1.82—2.22	1.78—2.29	1.74—2.31	1.70—2.43	1.61—2.65	1.48—3.10	1.34—3.91
1.5	1.4—1.62	1.37—1.66	1.35—1.70	1.32—1.73	1.27—1.84	1.18—2.05	1.1—2.37
1	0.95—1.05	0.94—1.07	0.93—1.08	0.92—1.10	0.89—1.14	0.85—1.22	0.8—1.32

此外有些摄影机直接将景深标尺标註在物鏡框上，如图 2-20 所示。

例：图 2-20 之三角指标所指 2.5 米，表示已对光在距物鏡为 2.5 米的物体上，这时若采用光圈为 8，则景深大约为 1.8—3.7 米。若光圈为 16 时，则景深大约为 1.6—8.8 米。



图 2-20. 摄影机上的景深标尺

§ 2.7 物鏡的視場、視角和像場、像角

物鏡所照射于焦面的光照是不均匀的，其照度由中央向边缘降低。在最小照度的圆周 ab (图 2-21a) 以内的范围，称为视场。物鏡中心 S 与视场直径端点 a 和 b 的联线所夹的角 2α ，称为视场角。在视场面积内，能获得足够清晰影像而且其亮度实际上已接近相同的部分 (如图 2-21b)，称为像场；它总是比视场小。物鏡中心 S 与像场直径的端点 c 和 d 的联线所夹的角 2β 称为像角。

像场的内接四边形是最大的像幅；但这时有一部分像场不能利用。因此航空摄影物鏡中为了充分利用像场部分起见，有时采用像场的外切正方形作为像幅。虽然这时像幅的四个角落在像场范围以外，不能得到清晰的影像。但航摄像片的四个角常常不利用这部分来摄取地物影像，而是用来摄取附属机件 (时表，水准气泡等) 的记录数值，故不会发生影响。

按照像角的大小，物鏡可分成下列几类：

(1) 窄角物鏡：通常称为长焦距物鏡。像角在 45° 以下。

- 2) 常角物鏡：像角自 45° 到 75° 。
- 3) 寬角物鏡：像角自 75° 到 110° 。
- 4) 特寬角物鏡：像角自 110° 到 133° 。
- 5) 超特寬角物鏡：像角在 133° 以上。

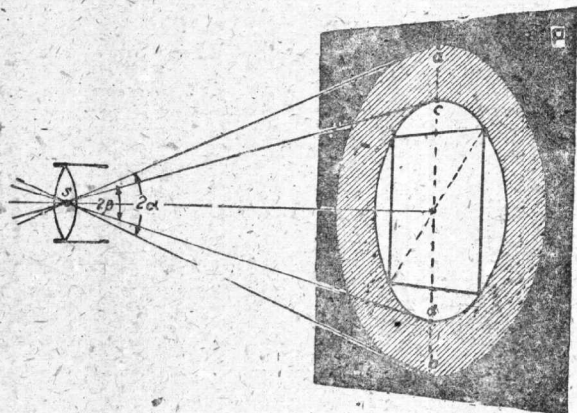


圖 2-21a. 視場, 視角, 像場, 像角

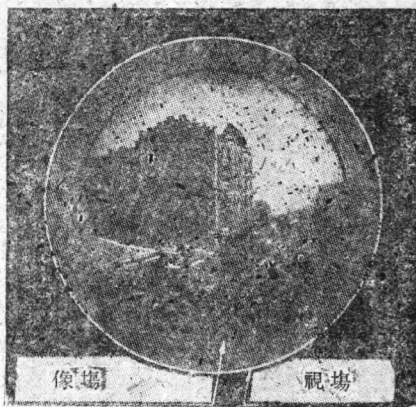


圖 2-21b. 視場和像場

应当注意，一般文献中或者生产單位，常常把像場、像角称为視場、視角。

在实际生产中，当从同一地物攝影时，寬角物鏡所攝取的空間范围要比常角物鏡大。例如：在航空攝影中，寬角物鏡所攝面积比在同一航高用常角物鏡所攝的要大。但是前者的比例尺比后者为小。从經濟观点来看，这一点是很重要的。在地面攝影中，当攝影机离开攝影物鏡很近，不能將全部景物攝入像幅內，而攝影机又無法后退（增大物距）时，就需要采用寬角物鏡。

長焦距物鏡与寬角物鏡相反，它所攝的空間范围較小，而所得影像比例尺則較大。

攝影时究竟选择那一类像角的物鏡，那要看攝影时所提出的任务而定。

§ 2.8 物鏡的分解力

分解力是物鏡重要特征之一。它可以說明物鏡对被攝物体微小細節的表达能。倘使一个物鏡是用来攝取必須放大的像片或者是要用放大鏡来观察的資料像片，則物鏡分解力如何，必須慎重考虑。特别是航空攝影的物鏡，要使判讀比較完善，必須保証很微小的地物能在像片上充分表达出来。

由光的衍射理論可知，即使是完全沒有像差的理想物鏡，对于單色光亮的点或綫的構像，不可能仍旧是点或綫，而是明亮的圓斑或帶，并且圓周繞有明暗交替而光亮漸減的圓环（圖 2-22a），或者是光亮漸減的帶（圖 2-22b）。中央圓斑或帶集中 84% 的光能量，所以可把它当做單色光点或綫的影像。

物理光学証明，理想物鏡分辨出两个光点或綫的影像的最低限度，必須使一个光斑的

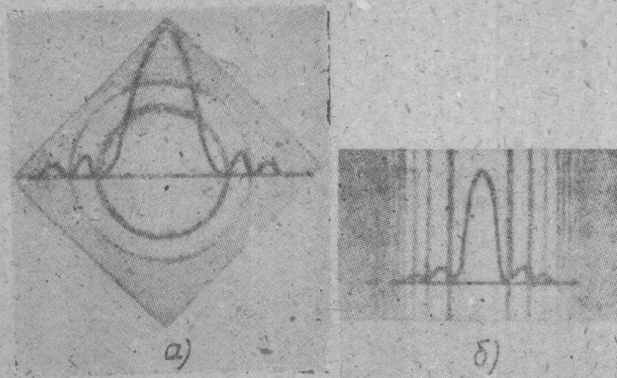


圖 2-22. 理想(無像差)物鏡所得的衍射圖樣

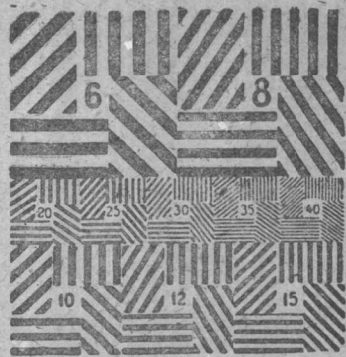


圖 2-23. 分解力檢驗圖片

中心与另一个光斑的中心保持有下列最小極限距离。

$$r = 1.22 \lambda \cdot k \quad (2-13)$$

其中 λ 为作用的波長; k 为相对孔徑的分母。如對光譜的中央部分, 即 $\lambda = 550 \text{ m}\mu = 0.00055$ 毫米部分而言, 則式中的最小極限距离等于:

$$r = 0.000611 \cdot k \text{ (毫米)}$$

物鏡分解力通常以一毫米寬度內所能清晰明辨出來的綫数来表示。因此理想物鏡的分解力 R 可按下列公式計算:

$$R = \frac{1}{r} = \frac{1400}{k} \text{ (綫数/毫米)} \quad (2-14)$$

例如: 相对孔徑为 1:9 时, 理想物鏡的分解力为:

$$R = \frac{1400}{9} \approx 165 \text{ (綫数/毫米)}$$

根据苏联国家光学研究所 Г.Г. 斯留薩列夫最近研究結果, 理想物鏡分解力的最准确的公式应为:

$$R = \frac{1600}{k} \quad (2-15)$$

实际上, 物鏡都存在着或多或少的殘余像差, 这时光的分散圈的直徑会扩大, 衍射花样变得更复杂, 故物鏡的实际分解力較上述公式算出的理論数据要小得多。

測定物鏡的分解力, 需要应用特殊的檢驗圖片。該圖片是由很多組等寬度的黑白綫条構成。每組的寬度相等但所包含的綫数是彼此不等的 (圖 2-23)。在測定时先把圖片放在試驗物鏡前面的准直儀的焦面上, 然后用放大鏡来观察物鏡对分解力檢驗圖片的構像, 并找出綫条剛能清晰明辨的最多綫数的組別。这組的綫条数, 即代表該物鏡的分解力。

物鏡的分解力也可用攝影的方法取得, 即將感光片放在物鏡焦面上对观察法所用的同一圖片攝影, 然后通过显微镜观察底片上的影像, 并找出剛能清晰明辨的最多綫数的

綫組。

用眼睛观察法所得的分解力数值与用摄影方法所得的分解力数值是不同的。因为后者是感光片分解力和物鏡分解力的組合数值，此組合分解力与物鏡分解力和感光片分解力之間有下列近似关系：

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_n}$$

式中 R_s 代表物鏡—軟片的組合分解力数值； R_0 代表物鏡分解力数值； R_n 代表感光片分解力数值。对于現代的航攝軟片分解力数值 R_n 約等于 100 綫/毫米。如果采用 R_0 也等于 100 綫/毫米，則摄影方法所得的分解力数值 R_s 为 50 綫/毫米。

对于摄影物鏡实际应用而言，組合分解力具有較大的意义。因此物鏡性能的鑑定証上，一般都記錄着組合分解力的数值。

从公式 (2-15) 看，分解力的数值是随着相对孔徑而变，相对孔徑数值愈大，分解力数值也愈大。但实际測定的結果却与此相反。造成这种矛盾的原因是：第一，物鏡中央部分的構像質量比边缘部分的構像質量高，第二，模糊圓縮小。但是当相对孔徑很小时，就会开始出現衍射而使清晰度反而減小。

在整个像場內，物鏡的分解力是不等的，在像場的中央部分高而边缘部分低。

現代的寬角物鏡分解力，在像場中央部分大約是 35—40 綫，边缘部分要降低到 10 綫，甚至到 5 綫。

§ 2.9 摄影快門

感光片之曝光，可以利用物鏡盖的取下及重行盖上来实现；但是如果曝光時間短于十秒，則徒手操作已無法控制，就必須依靠特殊設備——即所謂快門来控制，因此快門就是曝光時間的控制設備。

根据安裝位置的不同，快門可分为两大类：

(1) 物鏡快門

物鏡快門是設在物鏡中間或紧靠着物鏡的位置上。属于此类的有：圓盤快門，百叶窗快門和中心快門等形式。

其中最常用的是中心快門，航空摄影机差不多都采用这种快門。

中心快門是安裝在物鏡中間，它由 2—5 片的金屬薄片所組成（如圖 2-24），使用时，按动控制紐，快門即可自动打开和关闭，从打开到关闭的所經時間，可事先在曝光速度指示器上安置。一般中心快門曝光時間的数列是按下列順序排列的：1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 …………… 这些数字都是以秒为單位時間倒数。例如，50 即代表 $\frac{1}{50}$ 秒。此外在数列前面尚有为長時間曝光使用的“T”和“B”門。由于快門打开时是由中心向四周扩大，而关闭时是由四周向中心縮小，故称为中心快門。

目前中心快門的最高速度可达 1/1000 秒，其透光效率可达 60%—80%。



圖 2-24. 中心快門

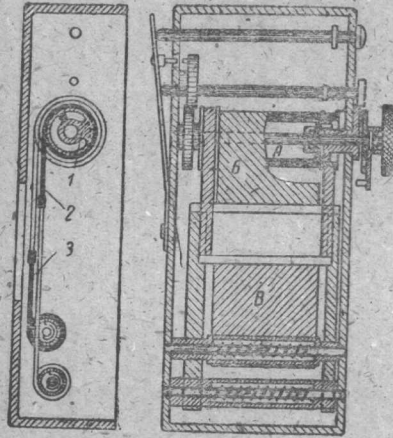


圖 2-25. 帘縫快門

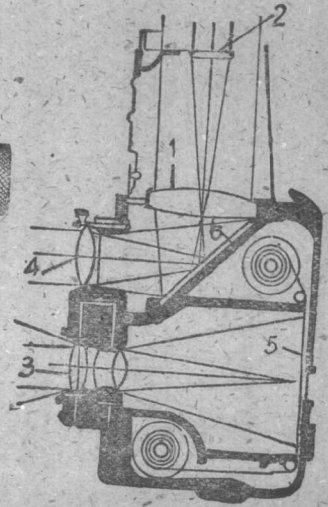


圖 2-26. 雙物鏡反光式攝影機

(二) 焦面快門

焦面快門是設在物鏡焦面附近的地方。它是由兩幅橡皮布或不透光的黑布卷帘所組成，故又稱它為帘縫快門（如圖 2-25），借卷軸來變更卷帘間的距離，以得到不同寬度的縫隙。若利用張力可任意變更的彈簧，可使該縫隙沿著感光材料滑動，而使感光片曝光，曝光時間的長短可以在很大的範圍內變動，最快的曝光時間可達 $1/2500$ 秒。

帘縫快門有如下的幾個缺點：

(1) 卷帘的運動速度不均勻，末期的速度最快，在高速度時誤差尚不顯著，但在低速度時，誤差可達 50%。

(2) 快門打開時不能使像面同時曝光，因此當攝取運動的物體時，會發生影像的變形，故航空攝影不採用。

(3) 非金屬的卷帘，受溫度變化而引起速度的改變。

帘縫快門的曝光速度數列，除按中心快門的順序排列以外，尚有按下列次序排列的：20, 30, 40, 50, 60, 100, 200。

§ 2.10 攝影機

現代攝影機的种类很多，一般可分為普通攝影用的和專業攝影用的兩大類，現以一個普通手提式小攝影機和一個航空攝影機作為例子來說明。

(一) 普通手提式小攝影機

普通手提式小攝影機的种类也很多，其中使用方便而且所攝像片不經放大就能看得很清楚的是雙物鏡反光式攝影機。

圖 2-26 表示該攝影機的結構圖。來自物方的光線經過檢影物鏡 4 而達反光鏡 6，

由反光鏡反射到毛玻璃檢影器1，同时物方光綫也經攝影物鏡3而構像于軟片5上。从物鏡3到軟片5之距离与从檢影物鏡4經反光鏡后到毛玻璃1之距离相等。檢影物鏡4和攝影物鏡3共同裝在可伸縮的外框上，对光时轉动对光螺旋，則兩物鏡同时前后移动，当檢影器上影像清晰时，則表示攝影机焦面的構像清晰。为了帮助檢影正确，在檢影器上方还設有放大鏡2。

目前我国南京电影机械厂出品的“紫金山”牌攝影机就是这种型式，它的物鏡是最优良的“泰塞”加膜物鏡，相对孔径为1:3.5，曝光速度为1/300秒，共分八挡不同的速度，焦距为5厘米，适合于裝6厘米宽的軟片卷，該攝影机加入附件后，还可采用宽度为3.5厘米的軟片攝影。此外，我国还出产了很多其他类型的攝影机，这里不做一一介紹。

(二)航空攝影机

适用于地形测量的航空攝影机，是一种精密的仪器，到目前为止也有很多类型，現以生产中最常采用的苏联出品的、АФА-ТЭ 航空攝影机作为例子介紹。

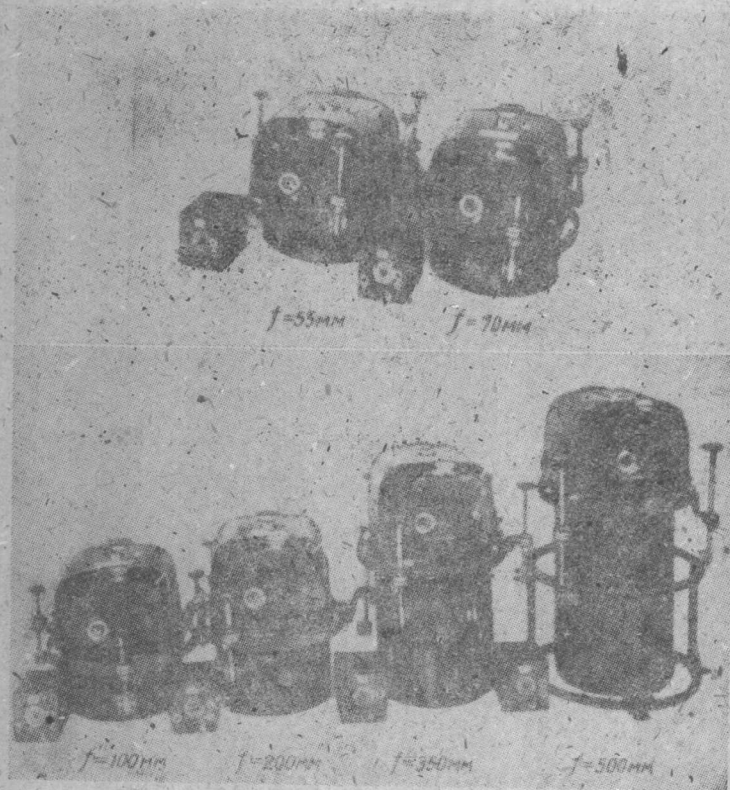


圖 2-27. АФА-ТЭ 航空攝影机

圖 2-27 表示 АФА-ТЭ 攝影机的全貌，攝影机是由鏡箱，暗匣和攝影裝置三个大部分組成的。鏡箱是与承片框固联在一起，它裝有 Руссар-33 物鏡，曝光速度分1/20, 1/50, 1/100, 1/115, 1/120, 秒五挡，快門是采用 3B-1 的中心式快門，物鏡焦距有 $f_k=100$ 毫米， $f_k=70$ 毫米等不同类型的。暗匣是可裝有 19(厘米)×60(米)的軟片，可拍攝像幅为 $18 \times$

18 厘米的像片300張，暗匣可以从摄影机上取下。摄影装置是用来將航攝机固定在飞机上并保證減弱飞机的震动对航攝机的影响。

摄影的整个动作是属于連續电动的，当到了摄影的时刻，摄影机的附件就傳來一次电流脉冲，因此摄影机便自动打开快門一次，并轉过一張軟片，而完成了一个工作循环。这种摄影机优点很多，故目前在生产中多采用它。

§ 2.11 摄影机的保养及其注意事項

摄影机是精密的光学仪器，必須細心的保护它；特别是物鏡部分（包括光学系統和快門）；因为物鏡的好坏直接影响着摄影成果的質量，所以我們必須特別注意它，如同对待自己的眼睛一样。

細心保养摄影机，不仅可使摄影机使用寿命延長，而且也是个人对国家財物爱护的具体表現。但是，爱护仪器單有很好的心願，而缺乏必要的保养常識，是不能达到目的的。因此，我們一方面必須熟悉摄影机各部件的性能，另一方面还得了解摄影机的保护方法。

保护摄影机应注意下列几点：

1. 避免强烈振动

摄影机的机件是非常精細的。效能較好的小型摄影机，其机件更是精細，而且又很复杂；特别是快門部分，彈簧、齒輪和槓杆甚多，如果其中一个机件發生障碍，就会影响其使用。我們知道，快門是控制曝光時間的機構，如果它失灵，就会使曝光時間不準確，直接影响構像的質量。快門的故障，多半是由于振动所引起。另外，摄影机的强烈振动也可能引起自动測距部分和透鏡組的相对位置变动，以致測距不準確和構像質量降低，所以摄影机無論在携帶行动或坐車时都应避免振动。

如果是可折的物鏡（如复照仪的物鏡），則在运输时，应把物鏡的兩面都盖上盖子，用棉花包好后放置在盒內，并在盒子外面裹以有折皺的紙，以避免振动。

2. 保持清潔

物鏡表面如附着灰塵和污穢，特别是油脂和手指印跡会使光綫散乱和損坏玻璃表面，因此我們应当尽量避免污物的沾結。当摄影机不使用时必須盖上物鏡盖。

如果物鏡面已沾上灰塵，則須用清潔的軟毛刷（如鼬毛刷或駝毛刷）拂除；或者用橡皮气囊吹气清除之。在灰塵拂除之前，切不可用其他方法揩擦物鏡，因为光学玻璃是不很堅硬的物質，容易被細砂磨伤。

清除油脂和手指印跡的最好方法，是用一塊干淨的，柔軟的最上等的細麻布或綢布潤湿酒精后輕拭之。但应注意酒精不宜潤湿过多，因为过剩的酒精会傳布到物鏡里去而使膠合層損坏。油脂去除后，再用細麻布或綢布輕輕揩拭。揩拭时，不应使物鏡受到压力。加膜物鏡更应特別注意。任何情況下，都不可用家用的去污剂、肥皂和碱来洗擦物鏡。

如果物鏡从冷处帶至溫室內，往往会使物鏡表面蒙上一層水汽，那末决不要立即去擦拭它，而必須等到水汽蒸發，表面开始有光輝时，才可謹慎小心的去揩拭。所以在揩拭物鏡时，呼气潤湿物鏡的表面是絕對不容許的。

3. 不应隨便拆开物鏡

物鏡是严密的光学系統，各个透鏡有一定的位置，沒有特別必要就不应当拆开它。如果有必要拆开，亦得請專門技师拆。否則隨便拆裝以后会破坏光学系統，影响構像的質量。

4. 防止風砂侵襲

攝影机在使用时，应防止物鏡受强風吹打。因为風里夾雜有塵砂，会打伤透鏡的表面。

第三章 摄影光化学基础

§ 3.1 光的本性

如果引一很狭窄的太阳光线投射于暗室中三稜鏡的一个稜面上，则通过稜鏡的光线便形成了光谱。在光谱中，光线的色彩顺一定的次序排列，并且相互紧接着，如图3-1所示。这一实验是英国科学家牛顿在1672年首先进行的，并证明了白色（无色）的太阳光是由很多种不同颜色组成的。

光谱内光线分解现象的实质，可解释为白光中所包含的各色光线，在通过稜鏡时，由于其折射率各不相同而引起的光线偏倾。折射最大的是紫色光，折射最小的是红色光。

如果在暗室中，于太阳光谱的红色光线之外放置一温度计，则温度计受热，温度显著上升，这证明了在这里面，还包含有一种看不见的但能产生热能的光线，这些光线称之为红外线。与光谱红光接近的红外线，在空中摄影方面有着很重大的意义。

在可见光谱的紫色光线界限以外，同样放一温度计，则温度不会升高，但是，如果在这里放一块摄影干片，则干片经显影以后能变黑，这说明在这里面有不能目见而能起光化作用的光线，即所谓紫外线。在紫外线范围内摄影，需要采用石英物镜，因为普通的光学玻璃要吸收紫外线。光线的颜色与波长密切相关，而这一点是光的本性问题之一。光就是介质电磁状态週期性的变化。这种变化具有波动特性，并且光波与其他电磁波（无线电波等）仅是在波长方面有所不同。

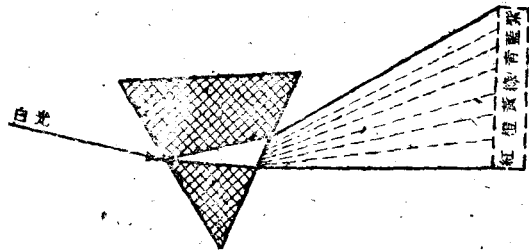


图 3-1. 形成太阳光谱的略图

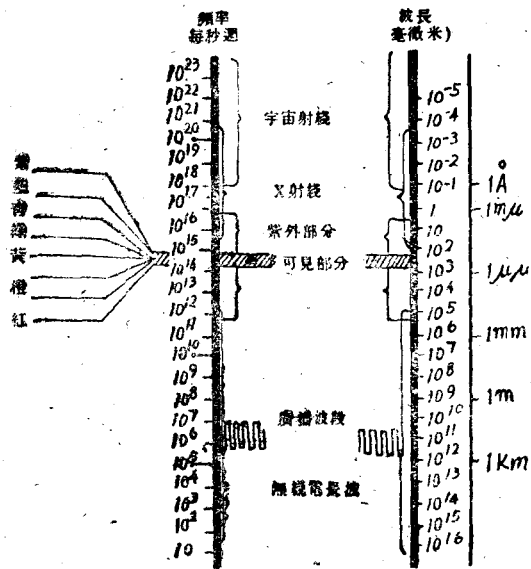


图 3-2. 电磁波谱简图

光在真空中的传播速度为300,000公里/秒。在一次振盪時間內，傳播振盪运动的距离称为电磁波波長 λ 。一秒鐘內振盪的次數称为振盪頻率 ν ，于是光的传播速度可以

下式表示：

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (3.1)$$

或

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

光波的長度很小，其度量單位通常以毫微米表示。

1 微米(μ) = 0.001 毫米(mm.)

1 毫微米($m\mu$) = 0.001 微米

有时也采用“埃(\AA)做單位”。

1 埃(\AA) = 0.1 毫微米($m\mu$)

目前我們所發現的电磁波，其波長範圍已從 10^{-14} 厘米到若干公里，但我們眼睛所能感覺的电磁波的波長還只限于 $\lambda = 4 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-5}$ 厘米（即 400—700 毫微米）的狹窄範圍內（圖 3-2）。這種电磁波由於波長的不同，引起人們對光產生各種不同顏色的感覺。現代的感光乳劑層所能感受的波長範圍（約 200—1300 $m\mu$ ）比人眼要廣闊得多。

一定波長的光稱為單色光。理想的單色光不可能從光譜中分析出來，故實際上所使用的單色光包含着不同波長的光，而只是其中的最大波長和最小波長的差別不大。前面已經說過可見光譜只限于 400—700 $m\mu$ ，今將各色光的波長範圍列表如下：

表 3-1

波 長 (m μ)	顏 色
400—430	紫
430—470	藍
470—490	青
490—550	綠
550—590	黃
590—620	橙
620—700	紅

§ 3.2 光源的色溫

光源輻射的光譜成分是用它的色溫來表示的。要了解光源的這個特性，必須熟悉溫度輻射定律。

大家知道，任何一個物體在加熱時，最初是放射熱能，也就是放射不可見的热綫。當溫度繼續升高時，這個物體開始放射出暗紅色的可見光綫，而後不僅是紅色的，而且還有橙色的，黃色的，再下去便出現其他更短波長的光綫，到最後至白熱溫度時變成白色。而且同時增大發光的總亮度。

在我們周圍的自然界里，溫度輻射起了很重大的作用。生活在地球上所必須的熱源

和光源是太陽——具有高溫度的宇宙體。一般光源，如從簡單的木頭和蠟燭的燃燒開始一直到最近代的電燈發光都是屬於溫度輻射。

根據上述的例子看，隨著溫度的升高，不僅總的輻射強度改變，而且輻射的光譜成分分布也改變。這種情況在攝影上有很重要的作用，因為感光材料對於可見光譜的各種光線感受程度是不同的。

溫度輻射不僅決定於物體的溫度，而且也決定於它的物理性質。如果將煤塊和白色粉筆塊放到瓦斯燈火焰中去燒，那末可以看出，雖然這兩個物體加熱到同樣的溫度，但他們發生的光是各不相同的。也就是煤比粉筆要亮得多。由此可以肯定，物體吸收投射在它上面的光線愈多，那末加熱時放射出來的光線也愈多。黑色物體具有最大的吸收能力。凡能吸收投射在它上面的所有輻射能的物體稱為絕對黑體。

在自然界中，絕對黑體是沒有的，但是我們可用人工方法做出來，即取一個耐熔性金屬制的空心球體，其內壁完全塗黑，在球體上開一個小孔，如圖3-3所示。通過小孔投入球體內的光線，極大部分的被黑色內壁吸收，只有極小部分反射，但反射的光線遇到黑色內壁又大部分被吸收，這樣經過多次反射，且每次都是極大部分被吸收，到最後實際上幾乎完全被黑色的內壁吸收了。因此，球的小孔就是絕對黑體。球的外表可能不是黑的，但是在室內溫度下，它的小孔是絕對黑的。這樣的球體在加熱時，它的內壁將放射出光來，並且根據加熱的溫度，小孔發光起初是暗紅色的輻射，而後黃色，到最後是白色。

由此可見，絕對黑體所輻射的光譜成分隨著溫度的改變而改變（圖3-4）。絕對黑體的輻射能力比起在相同溫度下的任何其他非絕對黑體的輻射能力來得大，並且在固定輻射溫度下，它所輻射的光譜成分的分布以及各成分能量的大小總是不變的，因此它可以作為與其他輻射體比較的标准。

從溫度輻射與絕對黑體溫度之間的关系可確定溫度輻射定律。即：絕對黑體的全部輻射能量與絕對黑體的絕對溫度的四次方成正比。

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (3-2)$$

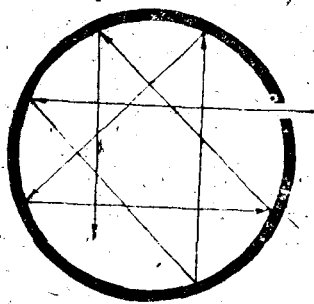


圖 3-3. 絕對黑體

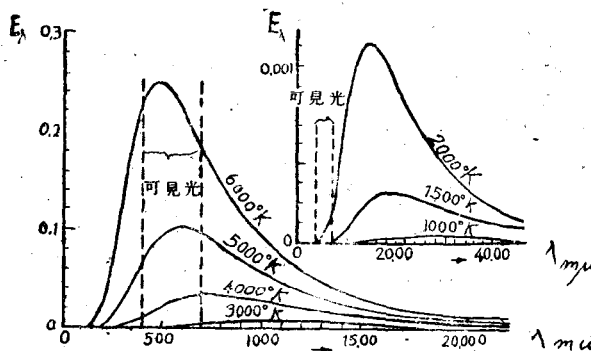


圖 3-4. 絕對黑體在各種不同絕對溫度下的輻射曲線

式中 E ——絕對黑体的全部輻射能量；

T ——絕對黑体的絕對溫度（即从絕對零度—273°C 讀出的溫度；絕對溫度分划用字母 K 代表）。

σ ——常數，其數值等于 5.72×10^{-8} 尔格而表示在 $T=1^\circ\text{K}$ 时，一秒钟內一平方厘米絕對黑体的表面上所放射的全部輻射能。

圖 3-4 是表示各种不同的絕對溫度时的輻射曲線，橫軸表示波長，縱軸表示輻射光綫的能量大小（相对單位）。圖中每條曲綫都註有它相应的絕對溫度。在每條曲綫下面的面積，分別地表示相应溫度下，絕對黑体單位面積上在單位時間內所輻射的總能量。对于每一個絕對溫度有一個相应于最大輻射的波長——曲綫的最高點（極大值）各條曲綫相比較，就很明显的看出，各个曲綫的極大值位置是不同的；極大值的位置是随着絕對溫度的升高向左方，即更短波長的一方移动。例如，在絕對溫度 2000°K 时，輻射能量最大的波長为 $\lambda_{\max}=1445\text{m}\mu$ （紅外線）；在 4000°K 时輻射能量最大的波長为 $\lambda_{\max}=720\text{m}\mu$ （即可見光譜的紅光界限）；在 5000°K 时，輻射能量最大的波長为 $\lambda_{\max}=575\text{m}\mu$ （黃色光綫）；在 6000°K 时，輻射能量最大的波長为 $\lambda_{\max}=480\text{m}\mu$ 。若將溫度繼續昇高，則最大輻射的波長就会向紫外光綫部分移动，这与上述的情况是相应的，也就是在物体加热时的輻射顏色逐漸改变，而且最后的輻射光变成白色。

研究指出，最大輻射的波長与絕對黑体輻射的絕對溫度之間存在着一个簡單的关系，也就是：最大輻射的波長与絕對黑体的絕對溫度的乘积是一个常數：

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{常數} \quad (3-3)$$

如果波長以微米表示，則

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2886 \quad (3-3')$$

因此根据此公式，知道了其中的一个数值，便很容易决定另外一个。

$$\lambda_{\max} = \frac{2886}{T}$$

或

$$T = \frac{2886}{\lambda_{\max}}$$

一般的輻射体，如电灯的鎢絲，不是絕對黑体。其輻射情况只能近似的适合于上述定律，但是，总輻射能随着輻射体溫度的升高而增大以及最大輻射能向短波一方移动的现象仍然是一致的。

在相同溫度下，一般輻射体所輻射的總能量比絕對黑体所輻射的總能量要小，同时其最大輻射的波長也不同。如圖 3-5 所示的曲綫(A)(B)为分別表示 2100°K 时，絕對黑体和电灯鎢絲輻射能对于各种波長的分佈曲綫。从圖中可以看出，当同一溫度时，鎢絲的总輻射能量要比絕對黑体的总輻射能量小，而且鎢的最大輻射位置 (1.2μ) 比絕對黑体的最大輻射位置 (1.4μ) 稍偏于短波一方。

如果某光源（例如电灯）的輻射能量在可見光譜部分的分佈与某溫度(T)时的絕對黑体的輻射能量在可見光譜部分的分佈相似，簡單的說，也就是某光源的顏色与某溫度

(7)时的绝对黑体的颜色相同，则该绝对黑体的温度 T 就称为该光源的色温。例如炭丝白热灯的辐射能量在可见光谱部分的分布与 2070°K 时绝对黑体的辐射能量在可见光谱部分的分布相似，则 2070°K 就是炭丝白热灯的色温。但必须指出，这里所说的 2070°K 并不是炭丝白热灯的实际温度，故色温只是说明光源的光谱成分，如果光源的色温愈高，则表明该光源的短波光成分愈丰富。表3-2是列举某些光源的色温数值。

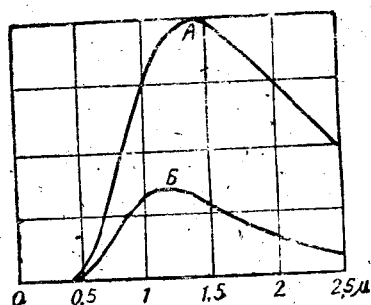


圖 3-5. 相同溫度下，絕對黑體和電燈鎢絲的輻射能對各波長的分布曲線

表 3-2

光 源	色 溫
炭絲白熱燈	2070°K
鎢絲真空燈	2490°K
鎢絲充氣燈	$2670^{\circ}\text{--}2980^{\circ}\text{K}$
弧光燈	3780°K
月光	4125°K
夏日正午時地球表面的陽光	$5300^{\circ}\text{--}5600^{\circ}\text{K}$
未經大氣吸收的陽光	6500°K
有雲的天空	$6400^{\circ}\text{--}6900^{\circ}\text{K}$
淺藍的天空	$19000^{\circ}\text{--}24000^{\circ}\text{K}$

光源的色温在攝影過程中，有着很大的作用，因為同一物體在不同色温的光源下所表現的顏色不同，致使攝影效果不一致，這一點對彩色攝影特別明顯。

§ 3.3 物 體 的 顏 色

物體可以分成兩類，一類是能向周圍空間輻射光能的自發光體；另一類物體本身不能直接輻射出光能，但它能在某種程度上吸收、透射或反射所投射在它上面的光綫，這類物體有透明的，也有不透明的。透明物體能將投射到它上面的光分為三部分：即反射、吸收和透射，不透明體只能將投到它上面的光分為兩部分：即反射和吸收。被吸收的光能會轉變成其他形式的能，一般是熱能。

各物體對光的吸收程度是不同的，如果物體對於白光中整個光譜部分的光綫都同樣程度的吸收，則稱該物體具有非選擇吸收性。在不均勻吸收時，即當物體對一種光綫的吸收程度比對另一種光綫的吸收程度大時，則稱該物體具有選擇的吸收性。由於物體對光有選擇吸收性，因而便產生了顏色。

具有選擇吸收性的透明體，它的顏色是由透射光綫來決定的，例如有色玻璃（如圖3-6a）。如果是非選擇吸收時，則透明體是無色的，例如一般的玻璃（圖3-6b）。

具有选择吸收性的不透明体的颜色是以它所反射的光线来确定 (圖 3-6e)。在非选择吸收时, 不透明体具有各种亮度的白色或灰色 (圖 3-6f), 其亮度大小根据所吸收白色光的数量而定。白色光全部为之吸收时, 即無反射光, 物体將为黑色 (圖 3-6d)。

物体的颜色將随光源的色温而改变, 这并不是說物体性質改变了, 而只是說明物体不能吸收、透射和反射光源所沒有的光谱成分。例如, 在紅光照耀下呈紅色的物体, 移到綠光或藍光下观察便呈黑色, 这是由于綠光或藍光被紅色物体所吸收的緣故。

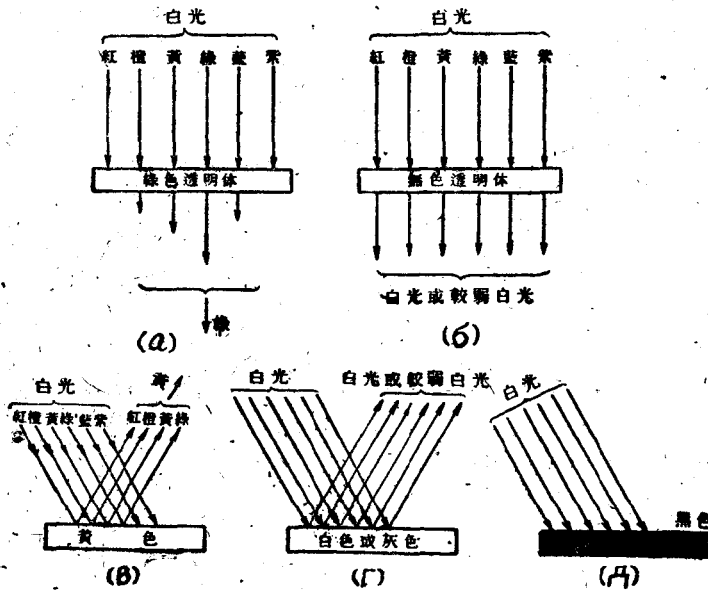


圖 3-6. 物体的颜色
a、b—透明体; c、d、e—不透明体

§ 3.4 光化学基本原理

根据现代的概念, 光具有波动和微粒两种特性, 这两种特性同时并存。在辐射和吸收过程中, 它表现出不連續的結構。

光的辐射能量是以一份一份的粒子流放射, 每份的大小与光的振动频率有关。这些放射的粒子称为光子 (或称光量子)。量子的能量值以公式表示之为

$$\epsilon = h\nu \tag{3-4}$$

或

$$\epsilon = \frac{hc}{\lambda} \tag{3-4'}$$

式中 ν 为振动频率; c 为光速; λ 为波長; 而 h 为普朗克常数, 其数值 $h = 6.62 \times 10^{-27}$ 尔格秒。

从公式 (3-4) 和 (3-4') 可知, 频率愈大或波長愈短, 量子能量值愈大。

当知道 ν 或 λ 值后, 应用上列公式便可很容易的求出光谱的任何一部分的能量值

(參閱表 3-3)。

表 3-3

λ (m μ)	波 的 种 类	$h\nu$ (尔格)	λ (m μ)	波 的 种 类	$h\nu$ (尔格)
10 ⁹	無線电短波	1.99×10^{-18}	480	藍色光綫	4.40×10^{-12}
1000	紅外線	1.99×10^{-12}	460	紫色光綫	4.97×10^{-12}
700	紅色光綫	2.84×10^{-12}	300	紫外綫	6.66×10^{-12}
600	橙色光綫	3.33×10^{-12}		軟X射綫	1.99×10^{-9}
570	黃色光綫	3.50×10^{-12}		硬X射綫	1.99×10^{-7}
500	綠色光綫	3.98×10^{-12}		宇宙射綫	3.33×10^{-9}

能量可以被物質的分子或原子吸收，但分子（或原子）只能吸收整数个量子，而不能吸收非整数（例如 0.5 或 1.5 等）的量子。

分子吸收了量子以后，便增加了內能的貯藏量。假設分子中原来能的貯藏量为 E ，而在吸收了量子后能的貯藏量为 E^* ，那末很明显：

$$E^* - E^0 = h\nu \quad (3-5)$$

即为分子所吸收的能量。

分子在吸收了多余的能量后（与原有的能量相比较而言），便处于活化的状态中，这种状态很不稳定，分子（或原子）会很迅速的以各种不同方式失去多余的能量，而恢复其原来的状态（正常状态）。分子失去余能的方式，最通常的是以余能变为热能。在物理学上，这种作用表现在物体吸收辐射能时，温度升高。例如大家知道，黑色物体在阳光作用下，温度会显著的升高，在另外一些情况下，被吸收的量子能会重新变成辐射能而反射回去，不过这时的辐射能的振动频率要比原来激动分子的辐射能的振动频率来得小，例如萤光现象。在某些情况下，最后分子受所吸收量子能的作用而发生了化学变化，这种受光影响而产生的化学变化称之为光化学反应。这种情况对我们来说是很有大用处的。因此我们現在較詳細的談一談这个问题。

量子等价定律为有关光化学反应的各种现代学说与概念的基础。根据该定律，每一个吸收辐射能的量子能使一个分子发生变化。在最初下量子等价定律的定义时，是假想每一个被吸收的量子，一定都能使分子发生化学变化。

但在前面我們已經知道，分子在吸收量子以后所得的能量，会以各种方式轉化，只有在某些情况下，分子的活化作用才会引起化学变化。

应该注意，引起化学反应的活化分子的能力，是取决于分子的活化程度（即吸收辐射能的情况）和吸收量子能的大小。大的量子比起小的量子，其所引起的化学变化要来得快。大家知道，在从前称紅外線为热綫，这是紅外線与紫外綫恰巧相反，它很少引起化学变化，仅仅是引起物体温度的升高。

假使量子的大小是指分子活化成具有反应能力的状态，那么每一个被吸收的量子，就能将一个分子变成为一个具有反应能力的分子。因此，所吸收量子数目就等于具有反

应能力的分子数。如果所有具备反应能力的活化分子都起了反应，那么所谓光化学反应的量子效率就等于 1。光化学反应的量子效率为：

$$\varphi = \frac{\text{起了反应的分子数}}{\text{所吸收的量子数}} \quad (3-6)$$

实验证明，在许多光化学反应中，量子效率是真正的等于 1 ($\varphi = 1$)。但是，大家也很了解，另外一些情况， $\varphi < 1$ 或 $\varphi > 1$ 。量子效率小于 1 的原因，是由于一部分分子白白地消耗了活化能而未来得及起反应。另一个原因却与此相反，即由于反应生成物的彼此作用，而使分子还原成原始的状态。另一种情况，为量子的效率大于 1，这是由于起连锁反应的关系。在这情况下，随着第一次的光化学反应，会产生一连串没有受光作用的反应。正因为如此，每一个所吸收的量子，好像是一连串反应的推动动力。氢与氯的混合物，其受光后的爆炸现象就是连锁反应的典型例子。

许多反应中，光量子效率不等于 1 的情况，它并不与上述的光化学基本定律发生矛盾。因为我们知道该定律没有涉及到光化学反应的最终结果，而只是证明，活化辐射能分子的数目与所吸收的量子数目相等。

§ 3.5 感光乳剂层的成分和结构

感光乳剂层是涂布于片基（玻璃或赛璐珞）上的一层明胶薄膜，在该薄膜内分布着许多卤化银的颗粒——乳剂颗粒。

明胶是卤化银的分布介质，本身不具感光性，但是，它与乳剂的感光度却有着密切的联系，关于这一点将在以后乳剂制造过程中详述。卤化银是乳剂中的感光物质，它包括溴化银、碘化银和氯化银三种。在所有的高感光度乳剂中，卤化银基本上是含有微量碘化银（只含卤化银总量的 1—6%）的溴化银，很少采用氯化银。但是在低感光度乳剂中（如印像纸的乳剂），氯化银的含量可能由百分之几到百分之百（其余为溴化银含量）。

除了明胶和卤化银以外，每种乳剂中还加有许多其他药剂，以增强乳剂层的感色性，保存时的稳定性和抗热性等。但这些附加物的总含量不超过 1%。

明胶薄膜的厚度因感光材料种类而不同，如：

低感光度硬片	12—16 μ
负性硬片	16—24 μ
正性软片	10—12 μ
负性软片	14—18 μ
印像纸	6—12 μ

在这样的薄膜内排列着 20—40 的卤化银颗粒层，在每一个平方厘米乳剂层内包含有几十万到几亿个乳剂颗粒。颗粒的大小因乳剂种类而不同，一般由 0.1 到 5 μ 。图 3-7 表示不同乳剂的显微摄影。

从图上可以很明显的看出，不仅异种乳剂的颗粒大小不同，而且同种乳剂的颗粒大小也是不同的。通常低感光度的乳剂颗粒较小，而高感光度的乳剂颗粒较大。图 (3-8)

即表示乳剂颗粒大小与乳剂摄影性能的关系曲线。横轴表示颗粒投影面积的大小（以平方微米为单位），纵轴表示一定大小颗粒的数目（以1000个为单位）。该曲线叫颗粒大小分布曲线。陡的曲线A表示感光度低的正性乳剂。曲线B表示感光度高的负性乳剂。

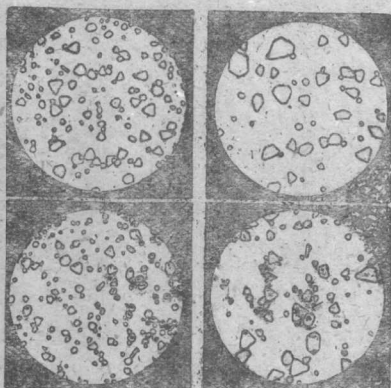


圖 3-7. 各种乳剂颗粒的显微摄影

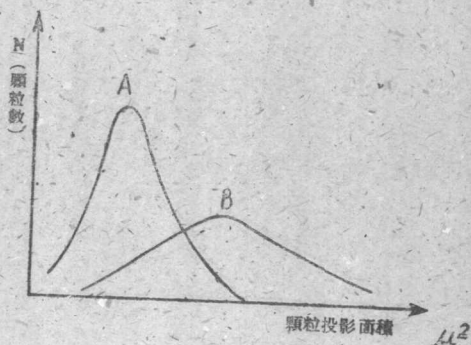
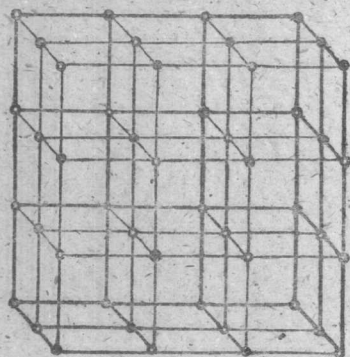


圖 3-8. 乳剂颗粒大小分布曲线

假使用显微镜观察同种乳剂，那么可以看出乳剂层的明胶中分布着无数独立的微小颗粒。这些颗粒的外表形状不规则（如图3-7），有三角形的，有六角形的，有圆形的，甚至有针状长条的。但是，不论其外形如何，这些颗粒皆为结晶体。

我们知道，食盐(NaCl)晶体是立方晶体结构。而氯化银晶体与食盐晶体属于同一晶体系，其结晶格子的结构都是以离子型式存在。带正电荷的银离子与带负电荷的卤离子相互交替排列着（图3-9）。两个邻近的相同离子其中心之间的距离大约为0.6μ。



● 代表银离子 ○ 代表溴离子
圖 3-9. 溴化银结晶格子结构

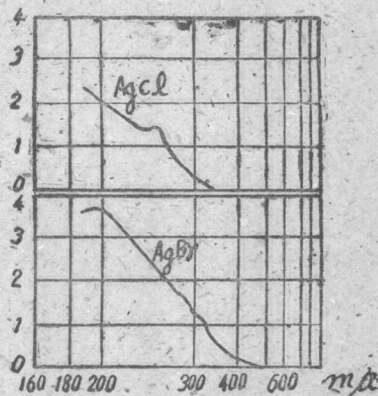


圖 3-10. AgCl 和 AgBr 的吸收曲线

§ 3.6 光对感光层的作用

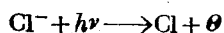
感光层在光的作用下会形成潜像。但是光对感光层到底怎样起作用产生潜像？潜像的本质又如何？这是摄影过程中理论上最重要的基本问题之一。

在研究潛像的構成和性質時，主要的困難在於潛像的顆粒在任何光學顯微鏡可見限度以外，而只有顯影，才是潛像是否存在的唯一可靠證明。然而顯影的結果與潛像的質量之間的关系，至今還不得而知。若用任何一種最精細的化學分析法來確定潛像顆粒的質量和成分，都是不可能得到結論的；只有採用物理方法，才可以研究出潛像的成分，並作出關於潛像的各單獨顆粒大小的一定結論。

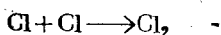
很多蘇聯學者在這方面曾作了很多研究，他們首先研究鹼金屬鹵素鹽(NaCl, KBr等)結晶體的特性，然後根據所得出的結論再去研究鹵化銀鹽。並且作出了有關潛像本質的一定結論。

純鹼金屬鹵素鹽的結晶體，對可見光譜部分是透明的。但是它能吸收大量的紫外光部分的光線，並在該部分內有若干個吸收的最高點。鹵化銀晶體不僅吸收紫外光部分的光線，而且還吸收可見光譜部分的一部分短波光線(圖3-10)。其中溴化銀對可見光譜部分的吸收範圍比氯化銀稍許大些，而碘化銀又比溴化銀稍許大些。

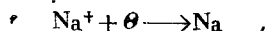
根據研究結果，鹼金屬鹵素鹽結晶體受紫外光線的照射時，結晶體中的負離子便吸收輻射能的量子。因此便有一個電子從外層軌道上跑出來變成自由電子。負離子失去電子後，便組成中性原子；即



鹵素原子待結合成分子：



而離開結晶格子。但自由電子却相反，它並不離開結晶格子，而在結晶格子中活動若干時間，若以敏感電流計與晶體連接，便可看出這時產生電流(光的導電現象)。最後此自由電子被正離子中和而形成金屬原子。



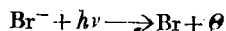
結晶格子中金屬原子形成後，就引起結晶體變色，現出新的吸收光譜。

綜合上述的光化作用，可以下列圖解表示：



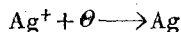
以上所述情況是指鹼金屬鹵素鹽的結晶體的光化學作用而言，但對於鹵化銀鹽來說，也可得到與此類似的結果。其區別只是在於不僅受了紫外光線作用而發生變色，而且受鹵化銀原來吸收部分的相應可見光線作用時，也會發生變色。並且也都同時可發現光的導電性。鹵化銀鹽結晶體的這樣變色，在分光鏡上所表現出來的是現出新的長波吸收光譜。例如，大家知道，無色的氯化銀受了光的作用後，就會變成紫色，而這種顏色正是由於新的吸收光譜的出現而引起的。

鹵化銀鹽和鹼金屬鹵素鹽，在光學和導電的特性方面是完全相同。這證明了任何結晶體中的光化學作用彼此是相類似的，因此鹵化銀鹽結晶體中最初的光化作用，就是輻射能量量子使鹵素的離子失去電子：



結果產生自由電子和鹵素的原子，此自由電子在未與正離子中和以前能在結晶格子內活

動若干時間（光的導電性），而形成銀原子；如：



綜合這兩個作用得：



所形成的鹵素原子成對的結合成分子而離開結晶體，並為乳劑層中的明膠所吸收。因此當光作用於乳劑顆粒時，一部分的鹵化銀會分解而產生鹵素和金屬銀，這些銀以膠質微粒狀態分布在結晶格子中，而構成了潛像。

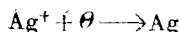
感光層中的溴化銀晶體，其結晶格子變形得很厲害，並且還含有異類夾雜物——膠態銀微粒，它能凝結光化作用過程中所形成的銀，並使潛像的顆粒增大。這個凝結中心稱為感光中心（如圖 3-11 a 的細綫條部分）。

乳劑顆粒對光綫的吸收，不僅僅局限於感光中心附近的離子，並且在結晶格子任何地方的離子都能吸收。每一個吸收量子的離子，產生出一顆自由電子，該電子貯藏有一定的動能，因而它能離開其原位而活動。

根據推斷認為光化作用所形成的自由電子，迅速離開它本身所產生的位置後，會在結晶格子已變形而具有異類夾雜物（感光中心）附近停留下來。這地方，就能量方面來說，像一個坑一樣，自由電子一到那裏就會陷落，並且牢固的停滯在那裏。因此根據這樣的作用，感光中心就成為吸附負電荷的帶電體了（如圖 3-11 b）。

一部分結晶格子中的正離子，由於熱平衡的作用，會離開自己的位置而在結晶格子內部移動，並且離開其正常的位置的距離可能相當大，溫度愈高，自由活動的離子就愈多，其振動範圍也愈大。當結晶體熔化的時候，極大多數的離子皆處於上述的自由狀態，只有一小部分還保持其原來結晶格子的位置。

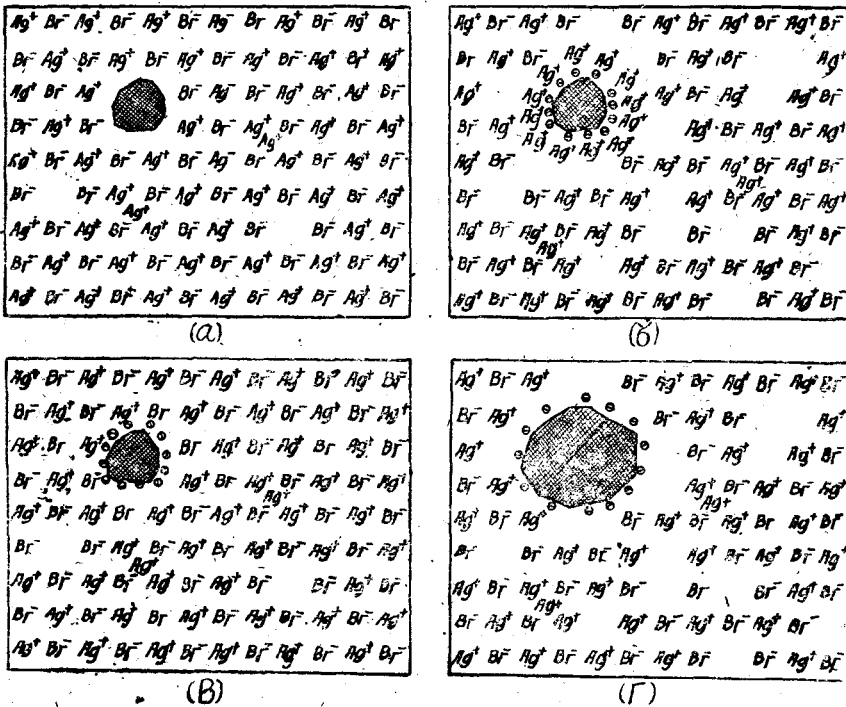
在感光層實際使用的一般溫度下，結晶體中自由活動的離子當量數極少，但這樣的自由離子是有的，而且它們決定着潛像部分的組成。自由活動的銀離子，由於靜電的作用，會被帶電的感光中心吸去，並在該處中和而變成銀原子：



於是潛像顆粒增大了（圖 3-11 c）。此增大的顆粒又會繼續吸引光化作用所產生的電子，使顆粒帶負電荷，而重複增大顆粒的過程（圖 3-11 d）。

上面所述組成潛像部分的理論，很显然，結晶體格子中銀離子的熱平衡運動起了很大的作用。因此可以聯想到，隨着溫度的降低，組成膠態銀微粒的可能性也將會大大減少，關於這一點實際已完全証明了。例如當溫度在 -186°C 時，不產生膠態銀微粒，甚至於結晶體受強光照射時也是如此，而且此時感光層對光的敏感性比常溫時要降低得很多。

從上面知道，潛像是由分布在乳劑顆粒中，主要是分布在乳劑顆粒表面的膠態銀微粒所組成。這些顆粒的大小，不能完全正確的肯定，但無疑地，這些顆粒在不同情況下，其大小是不同的。而顯影過程中，這些顆粒本身的相對活化能力與其大小有關。我們可以認為潛像平均是由幾百個（100—400）銀原子所組成。



Ag⁺ 爲銀離子 Ag 爲銀原子 Br⁻ 爲溴離子 Br 爲溴原子


 爲感光中心 增大顆粒的潛像部分

圖 3-11. 潛像形成的簡圖

§ 3.7 增感和減感

增感就是增強乳劑層對光線感受的能力。增感可分成兩種，一種是使乳劑層中鹵化銀對它原來的吸收光譜的感受能力增強，也就是使乳劑層总的感光度增加，它称为化学增感。另一種是使乳劑層對光譜的感光範圍擴大，称为光学增感。這兩種增感作用互有联系，化学增感作用常使乳劑層對光譜感光範圍有稍許增大（見圖 3-12），光学增感作用亦往往伴随着总的感光度增高。

化学增感是在乳劑制造的成熟过程中，主要是在第二个成熟过程中进行，当明膠加入乳劑溶液以后，由于明膠中所包含的混合物在乳劑顆粒表面發生化学作用的結果，使得乳劑顆粒表面形成膠态銀微粒，也就是所謂感光中心（見乳劑制造一章）。这种感光中心的形成便能增進乳劑的感光度。因为我們从前面一节已知道，感光中心在光化作用下能促進溴化銀的分解構成潛像并增大潛像的顆粒。也就是助長了光化作用的效果。

光学增感方法有几种，它多半是在感光乳劑流布到底板上以前，將特別的葯劑，即所謂光学增感劑先加在其他的附加物中，然后再將附加物加入感光乳劑中。但也有待感

光層制成或乳剂流布到片基上以后进行光学增感的，这时的增感方法是將感光層放到增感溶液去浸洗。这种方法，目前已很少采用。茲將光学增感作用的實質說明如下：

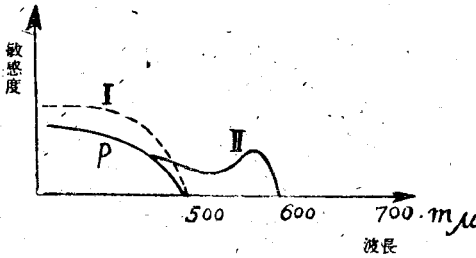


圖 3-12. 光学增感和化学增感的作用
 I—化学增感后的敏感性；
 II—光学增感后的敏感性；P—乳剂原有的敏感性

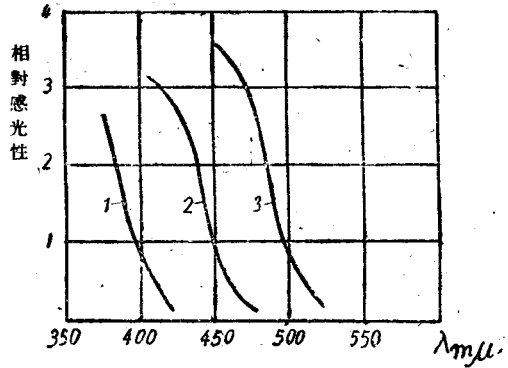


圖 3-13. 鹵化銀相對感光性曲綫
 1—氯化銀乳剂；2—溴化銀乳剂；3—碘溴化銀混合乳剂
 (含5.5%克分子量的碘化銀)

未增感鹵化銀乳剂对光譜的吸收，也就是乳剂的固有感光性，大都限于光譜的紫外光部分以及可見光譜部分的紫光和藍光。圖(3-13)即表示未經增感的感光層的相对感光性曲綫。从圖中可以看出，氯化銀乳剂仅感受紫外光和紫光，溴化銀乳剂感受的光譜范围比氯化銀乳剂較大，可延至500 mμ 附近，碘溴化銀乳剂又比溴化銀乳剂大些，但是不超过540 mμ。

在前一世紀下半叶，曾經發現，若將某些有机染料加入感光乳剂，会使乳剂層对染料所吸收的那一部分光譜的感光能力增加。發現有这种染料以后人們曾作了很多实验，并研究了几万种染料。結果發現了某些染料可以增加鹵化銀層对可見光譜中任何一部分的感光能力，甚至于延至一定波長的紅外光部分。茲將鹵化銀層增感以后对光譜的感光范围逐渐扩大的情况列表如下：

表 3-4

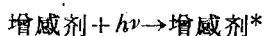
时 期	光 学 系 统 和 增 感 剂 名 称	光譜感光范围 (mμ)
	(可 見 光 譜)	
1875年以前	玻璃物鏡，未增感乳剂	400—700
1904年以前	石英物鏡，爱利脫洛新(Эратрозин)	320—500
1904—1919年	石英物鏡，批那啓阿諾尔(Пинацианол)	200—600
1919—1925年	石英物鏡，克利濃托啓阿宁(Криптоцианин)	200—720
1925—1931年	石英物鏡，念奧啓阿宁(Неоцианин)	200—820
1931—1934年	石英物鏡，克塞奴啓阿宁(Ксеноцианин)	200—900
1935年以后	石英物鏡，傑脫拉——兵塔卡尔波啓阿宁(Тетра, и пентакарбоцианин)	200—1100
		200—1300

从上表可看出，現代的感光層对光譜的感受范围比人眼所能感受的要大得多。由于玻璃能强烈吸收紫外光綫，因此，假若采用石英物鏡攝影，那末对紫外光部分的感光性

便会有—定增大。感光層对長波部分的感光性增大，完全与光学增感的成就有关，也就是說与新的光学增感剂的配成有关。

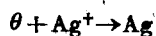
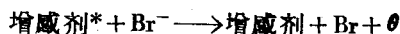
光学增感剂是一种有机染料，它能紧密的吸附在鹵化銀顆粒表面上。依据增感的光譜部分的不同，光学增感通常可分成正色、全色和紅外三类。正色增感剂能增加乳剂層对光譜黃綠色部分（約在 $\lambda = 500-600 \text{ m}\mu$ 之間）的感光力。全色增感剂能增加乳剂層对光譜的橙紅色部分（ $600-700 \text{ m}\mu$ ）的感光力。紅外增感剂能增加乳剂層对不可見的長波部分（ $>700 \text{ m}\mu$ ）的感光力。

然而染料增感的历程怎样呢？根据現今的觀念，認為染料能將所吸收的光能傳遞給鹵化銀。今將其增感的机械作用簡單敘述如下：增感剂分子在原来的吸收帶（ $500 \text{ m}\mu$ 以上的波長）中吸收了輻射能量子后就变成活化状态，这情况可用下式表示：

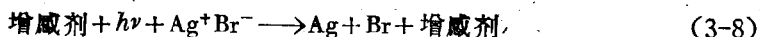


式中“增感剂*”表示增感剂的活化分子。

分子处于活化状态只能很短時間（若干分之一秒），它或者是起化学变化，或者是將能量傳給其他分子。当光学增感剂將能量傳給鹵化銀晶体后，該鹵化銀晶体便在能量的作用下，产生鹵化銀分解的一般过程，即



或合并写成：



从这个式子中可看出，增感剂做了一次傳遞能量的工作以后，便恢复到原来的状态，并且还能繼續做同样的工作。实验証明：一个增感剂分子可足够使 50—60 个鹵化銀分子發生分解，但是，到最后，增感剂分子終於被破坏了。

光学增感作用增加了光譜的感光范围，其实际意义是非常大的，我們只要这样来看：假使不增强乳剂对黃色和紅色光綫的感光能力，那末就不可能进行彩色攝影，这一点就足够說明了。然而其对于黑白攝影的作用更大，正因为这种作用，黑白攝影才比較正确的表达了有色亮度。此外光学增感作用对于空中攝影具有特別的意义。

現在我們再来簡單的敘述一下感光層的减感作用。

当研究增感作用以后，我們就不难理解，减感作用就是降低乳剂的感光度。但是，乳剂層既然需要增感，又何必还要减感呢？这不是很矛盾嗎？实际上这并不矛盾。因为乳剂層需要减感是在攝影以后，也就是在显影的过程中进行。大家可以想像到，光学增感以后的乳剂層，例如全色層其感光性是很强的，因此显影必須在全黑或者暗綠的条件下处理。而当减感以后，就可以在很亮的綠灯下进行显影；同样，正色層經减感以后，可以在很亮的紅灯下显影；透明正片乳剂層（未增感的）經過减感以后，甚至可以在微弱的白灯下显影。

减感的方法有两种，一种是將已曝光的乳剂層先在减感剂溶液中处理，然后再浸入显影液中去显影。另一种是將减感剂加在显影溶液中，同时进行减感和显影。

实际上最常用的减感剂有：費奴薩富拉尼(Феносафтанин)黄色的批那克里瀋托尔(Желтый пинакриптол)和綠色的批那克里瀋托尔(Зеленый пинакриптол)。

虽然减感的机械作用还研究得不够，但是，根据某些材料可以假定它是与光化作用下卤化銀所形成的銀原子的氧化作用有关，正因为如此，减感剂才能防止感光層在具有光化作用的光綫照明下曝光。大家知道，强烈的氧化剂，如鉻酸，具有减感作用，即降低乳剂層感光度的作用，可是这种减感剂不仅降低感光度，而且还破坏潛像。良好的减感剂(如上述的三种)，具有足够的氧化作用，能氧化再次生成的銀原子，而同时又不妨碍潛像的存在。

第四章 感光测定

§ 4.1 感光测定和它的意义

地面摄影和空中摄影采用的感光材料种类非常多，例如：有各种不同特性的硬片、软片、电影软片以及航摄软片等等。但是在实际摄影中，究竟采用那一种感光材料最合适，则需根据摄影形式和当时摄影条件来确定。例如：在照度不良的条件下进行摄影，就必须采用感光性强的感光材料；对于明暗差别较小的(软性)景物，例如一般空中摄影的情况，主要是采用硬性的航摄软片，另外由于空中摄影时曝光时间受限制，除了采用硬性航摄软片外还要求其感光性很强。相反的，如果摄取一个明暗差别很大的(硬性)景物，则使用的感光材料就应当是软性的；能正确表达很大亮度范围的感光材料。在各种技术摄影方面，有时要求能很好表达出景物的微小细节，如像多倍投影仪用的缩小片，需要放大很多倍，那末就必须采用微粒的感光材料。

从上面知道，任何摄影情况下都得选择合适的感光材料，要选择合适的感光材料，就必须对感光材料的感光特性有个清楚的了解。

感光材料的感光特性，可以用实际试验的方法来确定，也就是直接作摄影试验，但这种方法，除了本身的过程很复杂以外，它只能用目视法评估摄影成果，并且它也只适用于所试验的条件，如果摄影条件改变，便得重新作试验。要客观的解决某感光材料适用于某景物和某照度条件的问题，就必须以数量指标为基础来表示感光材料的真正特性。

确定感光材料的感光特性是摄影科学中很重要的一个独立部分，也就是所谓感光测定。

感光测定本来只限于测定感光度。现在这个概念已经扩充了，它不仅测定感光度，而且也测定其它的感光特性，如反差系数、曝光宽容度、朦胧、感色性和分解力等。

测定感光层的感光特性，必须经过下列三个步骤：

- 1) 将试验的感光材料在可量度的标准光照下进行曝光；
- 2) 将已曝光的试验材料在标准条件下进行摄影处理，即显影、定影、水洗和干燥。
- 3) 量测黑度，并将量测数据用图解法表示出来。

以上所述过程，均须在严格的标准条件下进行，否则就不可能得出精确的数据以作比较。

感光测定不仅应用于摄影过程以指导曝光，而且也用于感光材料制造的控制以及在摄影处理过程中用以指导显影和评定摄影质量。目前我国航空测量队已开始应用感光测定方法控制感光材料的制造和评定航摄负片的质量。

§ 4.2 透明度、不透明度和光学黑度

感光材料受光作用以后，再经过一定的摄影化学处理，就会得到一定黑度的银粒影像，黑色的银粒影像能阻止光线的通过，银粒累积愈多，则阻光愈多，而透光愈少。在一張负片上，由于其各部分累积的银粒有多有少，因此透光也相应的有多有少，这样在晒印像片时，透光多的部分就使像片在显影后变得较黑，透光少的部分就使像片在显影后较淡。如果我们能确知负片上银粒的分布情况，对于了解晒印效果是非常有利的。

从最单纯的意义来说，每单位面积内银粒分子数量就是银粒分布的密度。但这样的密度数值在实际工作中很不便于计量，也不便于应用。我们要知道密度，主要是要了解负片上各区域对于阻光（或透光）的效能有多大。银粒分布愈密，阻光愈多，透光愈少，因此最好的办法就是直接从它们的阻光多少来决定银粒的密度，这便是摄影科学中常用的方法。

因此为了要了解密度，首先要明了透明度、不透明度的概念。假定有一已知光强 F_0 的光投射于某变黑层上，通过该层后的光强为 F ，则比值 F/F_0 就称为该变黑层的透明度（或称为透光率）以 T 表示之，即

$$T = \frac{F}{F_0} \quad (4-1)$$

透明度数值能指出光通过变黑层以后，其光强减弱的倍数。或者说，有几分之几的光能通过变黑层。例如，如果变黑层的透明度等于 $\frac{1}{10}$ （如图 4-1），那就可说，光通过变黑层以后，其光强减弱了 10 倍，或者换句话说，透过的光强是投射光的 $\frac{1}{10}$ 。

相反的，透明度的倒数就称为不透明度（或称阻光率）。也就是投射光强 F_0 与透射光强 F 之比，以 O 表示之，即

$$O = \frac{1}{T} = \frac{F_0}{F} \quad (4-2)$$

例如，如果透明度等于 $\frac{1}{10}$ ，则不透明度就等于 10，所以不透明度是变黑层透光能力的另一种表示方法。

不透明度的常用对数称为光学密度，对于黑白感光片而言，可简称为黑度，以 D 表示之，

$$D = \lg O \quad (4-3)$$

即

$$D = \lg F_0 - \lg F$$

当变黑层的透明度 $T = \frac{1}{10}$ ，而不透明度 $O = 10$ 时，则其黑度为一个单位，即黑度为

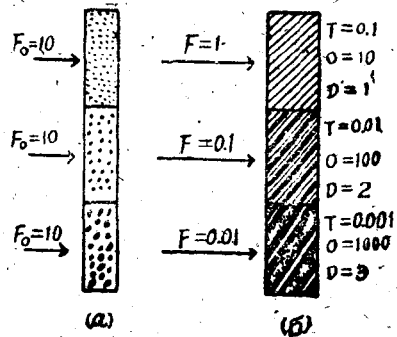


图 4-1。变黑层的透明度、不透明度和光学黑度
a—表示变黑层的剖面，b—表示变黑的状态

1；因为 $\lg 10 = 1$ ，如果透明度 $T = \frac{1}{100}$ ，则不透明度 $O = 100$ ，而 $D = \lg 100 = 2$ ，其余可依此类推。

兹将透明度；不透明度和光学黑度的关系列于下表 4-1；

表 4-1

透明度	T%	100	50	25	12.5	10	6.25	3.12	1.56	1.0	0.78	0.39	0.19	0.10
	T	1	1/2	1/4	1/8	1/10	1/16	1/32	1/64	1/100	1/128	1/256	1/512	1/1000
不透明度	O	1	2	4	8	10	16	32	64	100	128	256	512	1000
光学黑度	D	0	0.3	0.6	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	3.0

从表 4-1 可以看出，当透明度减小 $\frac{1}{2}$ 时，光学黑度便增大 0.3，例如假定有一变黑层，其透明度等于 $\frac{1}{4}$ ，因而光学黑度 $D = \lg 4 = 0.6$ 。如果在这变黑层上再叠放一个透明度为 $\frac{1}{2}$ 的第二变黑层，则第二变黑层通过的光将是第一变黑层所通过的 $\frac{1}{2}$ ，也就是总共通过投射光的 $\frac{1}{4}$ ，由此得总透明度是各层透明度的乘积，而总不透明度便是连乘积的倒数。根据对数定律：

$$\lg(ab) = \lg a + \lg b$$

该二层的总光学黑度为各个光学黑度 D 相加而得，即 $D = \lg 4 + \lg 2 = 0.6 + 0.3 = 0.9$ 。

在感光测定的实际工作中量测各变黑层通过的光强时，都是根据仪器直接读出其光学黑度值的。知道了对数值，利用对数表就很容易查得其透明度。量测光学黑度的仪器称为黑度计（或称为密度计）。

§ 4.3 感光测定试验的基本方法

曝光是感光材料作感光测定试验的第一个步骤，它所采用的光源有一定要求。根据国际规定，感光测定试验应采用最接近于中等阳光的光源，因为大部分感光材料都在中等阳光下使用。中等阳光的光谱成分可用色温 5000°K 表示。但是实际上，最接近于中等阳光的光源不能直接得到。因此一般都用间接方法求得，也就是采用所谓人造阳光。苏联国家光学研究所的感光计的光源是采用色温为 2850°K 的白热钨丝灯；另外再加一个人造阳光滤光片，通过滤光片以后的辐射光，其光谱成分就接近于中等阳光了（图 4-2）。人造阳光滤光片有液体的和玻璃的两种。液体的滤光片在使用中溶液容易蒸发，并有流出的危险，因此苏联通常采用的是玻璃的滤光片。它由 CC-1 和 C3C-15 两块玻璃黏合组成。其总透明度为 0.25。

感光测定时，试验材料的曝光，目的是要使它各部分上受到有一定规律变化的曝光量，这种有规律地改变试验材料上曝光量的机构称为曝光量调节器。

曝光量 H 是曝光时间 t 与照度 E 的乘积，即

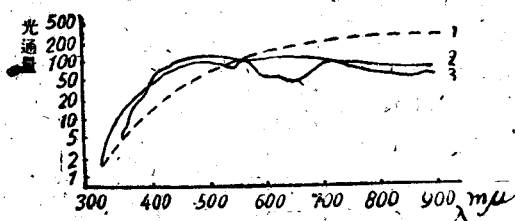


圖 4-2. 中等陽光的特性
1—為 $T=2850^{\circ}\text{K}$ 的白熱鎢絲燈；2—為中等陽光；
3—為蘇聯標準 ГОИ 感光計的人造陽光。

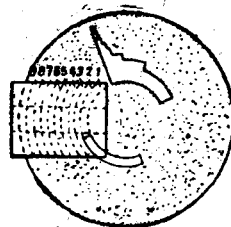


圖 4-3. 黑德二氏感光計的梯級切口圓盤

$$H = E \cdot t$$

從式中可看出，曝光量可以用兩種方法來調節，即調節曝光時間或調節照度。按照所採用的方法不同，曝光量調節器分成：帶有時間分劃的和帶有照度分劃的兩種。供感光測定試驗用的儀器，即控制試驗材料上各部分能受到不同曝光量之儀器，稱為感光計。光源和曝光量調節器是感光計的主要部分。

黑爾捷爾和德立非力特 (Хертер и Дрифилд) 感光計是代表裝有時間分劃的調節器的一類感光計。該感光計的曝光量調節器是一個有梯級切口的圓盤，最大切口中心角度為 180° ，其次為 90° ，再次為 45° ，每級縮小一倍，這樣依次減小，到最小一個切口中心角度為 0.703° ，共分九級，各級照度相等 (見圖 4-3)。當圓盤在感光材料前以一定速度轉動時，相應各級切口的感光層上便受到不同的曝光量。其末級與首級的曝光量之比等於 1:256。

蘇聯所採用的國家標準感光計，是代表裝有照度分劃的調節器的另一類感光計。

在這種感光計中，曝光量是用光學楔板來改變的。所謂光學楔板是表面上塗有灰色明膠層的帶狀平面玻璃，其各部分的灰色濃度彼此不同。

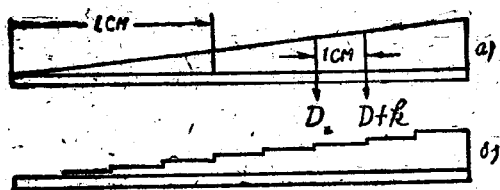


圖 4-4. 兩種不同的光學楔板
a—連續光學楔板；b—梯級光學楔板

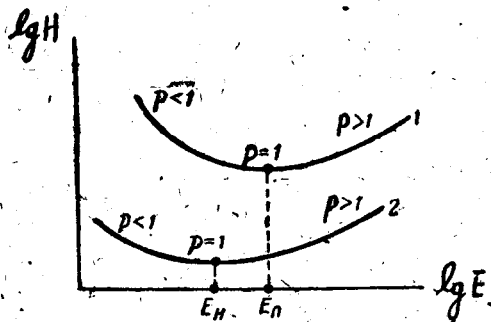


圖 4-5. 一定光學黑度 D 所需的 $\lg H$ 與 $\lg E$ 的關係曲線

光學楔板可分成連續光學楔板 (圖 4-4a) 和梯級光學楔板 (圖 4-4b) 兩種。不論那一種光學楔板，其黑度都按一定規律變化，並且光學楔板任何一部分的黑度都有一定數值。從光源發出的光線，通過光學楔板後，由於受到各部分不同黑度的影響，就產生不同程度的減弱。此時如在光學楔板下放置感光材料，則感光層上各部分便得到不同的曝光量。

假如光源的強度、光源與感光材料表面之間距離、曝光時間以及光學楔板的黑度（或者圓盤切口角）的大小都已知，那末不論用那一種曝光量調節器，都很容易算出感光層上所受的曝光量。

但是，上述兩種改變曝光量的方法，其價值彼此不同；其中以光學楔板調節曝光量的方法較佳。因為這個方法能與感光材料實際使用的條件相符，使得軟片或硬片的整個感光層上的曝光時間都相等，而所得照度都不同。要是使用切口圓盤，就不可能滿足這個要求。

連續光學楔板上，每一厘米內黑度的增大值是一個常數，以 k 表示之，假使光學楔板的起始黑度等於 D_H ，則對於離楔板起點的距離為 L (厘米) 部分上的黑度 D_L ，可根據下列公式求得：

$$D_L = D_H + k \cdot L \quad (4-4)$$

在梯級光學楔板上，所有相鄰梯級的黑度改變值都是相等的，今以 k_c 表示此常數。假如第一梯級的黑度等於 D_1 ，則第 n 級的黑度可用下式表示：

$$D_n = k_c(n-1) + D_1 \quad (4-5)$$

蘇聯國家光學研究所 (ГОИ) 的感光計中採用的是梯級楔板，其常數為 0.15，梯級共 21 級。

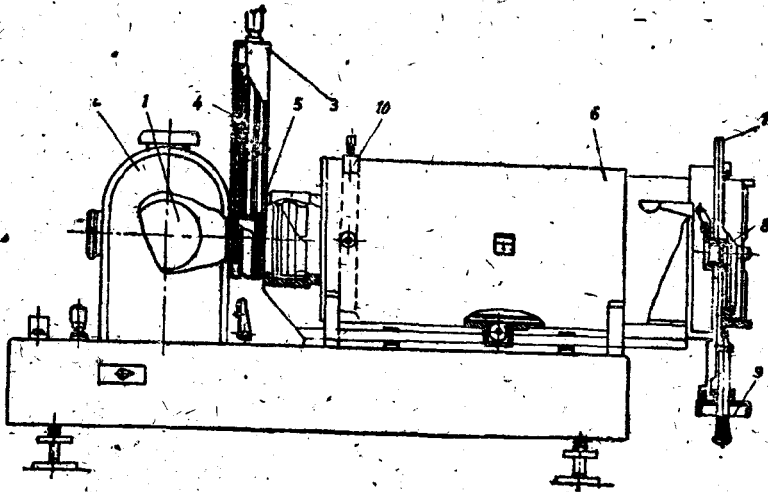


圖 4-6. ГОИ 感光計簡圖

1—光源；2—燈罩；3—帘縫快門；4—金屬帘幕；5—人造光濾光片；6—可伸縮的圓筒；7—暗匣部分；8—梯級楔板；9—上下移動暗匣部分的螺旋

除了調節曝光量的方法以外，照度的選擇，同樣也有很大作用。如照度值很小，而曝光時間很長，則顯影後所得黑度，要比在大照度的條件下用短曝光時間所得的黑度為小，雖然在這兩種情況下，曝光量是相等的，即 $E_1 t_1 = E_2 t_2$ 。這種違背 E 和 t 值互換定律的現象是斯瓦爾茲西力德 (Шварцшильд) 所發現的。他證明攝影效果不是取決於 $E \cdot t$ 乘積，而是取決於 $H = E t^p$ 。指數 p 是根據感光層上的照度而變，並不是一個常數。在某

种照度下， p 接近于 1；当照度很小时， p 小于 1，当照度很大时，则 p 大于 1（如图 4-5 所示）。

从此可以知道，做感光测定试验时，光源的强度与其至感光材料表面的距离都必须适当的選擇，使得在采用中等曝光时间的条件下，能得到所須的曝光量。这个时间約为若干分之一秒；但在不同攝影情况下，可能有很大区别。

圖 4-6 即为苏联国家光学研究所發明的感光計（簡称 ГОИ 感光計）。裝在灯罩（2）中的光源（1）为一种探照灯型式的白热灯，色温为 2850°K ，其电源由蓄電池供給，光源为 70—120 燭光。帘縫快門（3）乃是一个金屬的自由降落式帘幕（4）。其曝光时间为 $1/20$ 秒。此后是玻璃的日光濾光片（5）。光源和暗匣部分（7）由可伸縮的圓筒（6）連結起来。紧靠濾光片的后面有一塊可在圓筒切縫中上下移动的框架，框架上有五个窗孔，第一个是空窗，第五个窗孔裝置着灰色濾光片，这两个窗孔是在确定一般（总的）感光度时使用。第二，第三和第四个窗孔上分別裝置有 ЖС-18 黄色濾光片，ОС-14 橙色濾光片和 КС-14 紅色濾光片。此三种濾光片是在确定有效感光度时使用。暗匣部分（7）前面的中間裝置有梯級光学楔板（8）其常数为 0.15。

試驗时，將試驗材料放在暗匣部分（7）上分三次曝光，并且每曝光一次利用螺旋（9）使暗匣部分移动一定距离。这样可在 9×12 厘米的軟片或硬片上得到三个楔板影像。曝光以后將試驗的材料分成三个部分，然后开始显影。

感光测定试验中的攝影处理必須在一定的条件下进行。首先配制处理溶液的葯剂应当采用化学純的試剂。根据标准，每种感光材料試驗所采用的显影液应与其实际中所采用的相同。現將各种不同类型的感光材料所采用的显影液的标准成分列举如表 4-2。

表 4-2

感 光 材 料	1 升显液溶液的份量 (以克計)				
	米 士 尔	几 奴 尼	無水亞硫酸鈉	無水碳酸鈉	溴 化 鉀
攝影干片 { 負性的 半色調的 綫划的	1	5	26	20	1
航攝軟片	1	5	26	20	1
电影負片	8	—	125	5.75	2.5
电影正片	2	6	20	26	4.5

其次显影液的溫度应当保持在 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。为了得到各种不同感光度，通常將試驗材料的显影时间逐次增加一倍。例如显影兩分鐘，四分鐘，八分鐘。显影时间的誤差不应超过 $\pm 1\%$ 。

此外，显影的技术也非常重要。如果在盆中显影时，則需要用軟的橡皮刷子刷感光層的表面，使失效的显影液刷去，而換上新鮮的显影液，这样可使显出的影像比較均匀。

为了使显影均匀，ГОИ 感光計附有标准显影仪器（如图 4-7）。將已曝光的試驗片安装在固定于仪器軸上的垂直框中，在显影时，利用馬达使它在显影液中旋轉，当旋轉至所需的时间时，即行停止，并取出其中的一張試片，而將剩下的繼續在显影液中旋轉。至于試片的定影和干燥，利用普通方法即可。

試片經显影后，則得到各級黑度不同的負片，称之为感光圖片（或称感光級譜）。感光圖片各級的光学黑度可用黑度測定計量測。黑度測定計种类很多，大体上可以分成肉眼观察的和光电式的兩类。肉眼观察的黑度測定計，在实验室中常采用的有戈耳德貝

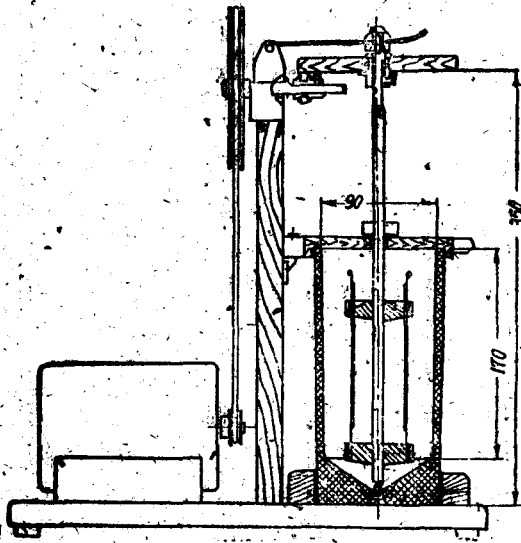


圖 4-7 显影仪器

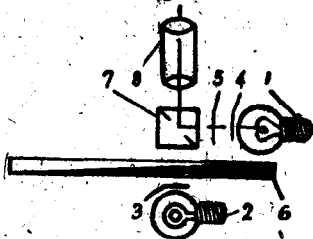


圖 4-8 戈耳德貝爾格黑度測繪器

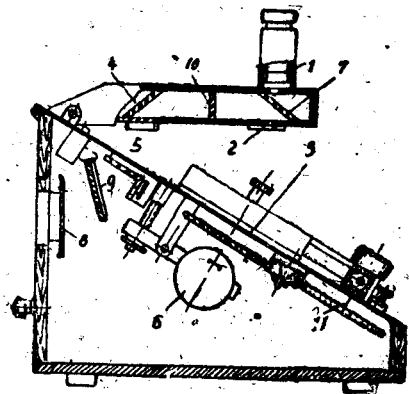
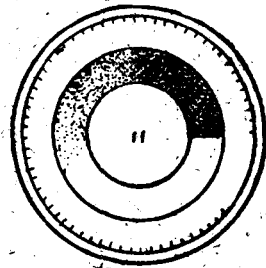


圖 4-9 ИФТ-11 楔板黑度測定計



尔格黑度測繪器和苏联国家光学研究所的楔板黑度測定計两种。圖 4-8 为戈耳德貝爾格黑度測繪器原理圖。圖中 1 和 2 为强度相等之二光源。在光源前面各有一乳白玻璃 3 和 4。5 为欲量測黑度的感光圖片，6 为光学楔板，上面刻有黑度分划。7 为柳麦尔立方体，其中心傾斜面上鍍銀，而斜面中心留有一小孔。立方体的上方是自鏡 8。量測时，先将感光圖片需量測的部分放在光源 1 發射的中心光軸上，且与光軸垂直。光綫經過 4 和 5 后投射至方立体的塗銀面上，随即被反射至目鏡 8 內，由光源 2 發出的光通过楔板后，直接穿过鍍銀面上的小孔也投入目鏡內，这时如將楔板左右移动，使得两条不同路

徑投入的光綫強度相等，也就是移動到不感覺有小孔的存在為止，則光路所經的楔板上的黑度即為感光圖片上所量測部分的黑度。

此儀器除能以透射法量測感光圖片的黑度外，還可用反射法量測像紙上感光圖片的黑度。而且還可以直接繪出黑度與曝光量的關係曲綫。

蘇聯國家光學研究所的黑度測定計為另一種使用很廣的楔板型黑度測定計（ИФТ-11）。圖4-9是此儀器的結構略圖。圖中具有目鏡（1）的儀器蓋是打開的狀態，在量測時，需要將這蓋緊貼於台板上，緊貼後，小孔上的平面鏡（2）就落在乳白玻璃（3）之上，而另一平面鏡（4）下方的小孔會落在乳白玻璃（5）之上。從光源（6）所發出的光綫，可以經過兩條路徑投射於目鏡（1）內：一條是直接經過乳白玻璃（3）和平面鏡（2）上的小孔，最後通過半鍍銀的鏡子（7）而到達目鏡（1）；另一條路徑是比較複雜，即從平面鏡（8）反射出的光，經過補償楔板（9）和乳白玻璃（5）後，從平面鏡（4）反射出去，然後經過灰色玻璃（10），當到達半鍍銀的平面鏡（7）後又被反射至平面鏡（2），最後又被平面鏡（2）反射至目鏡（1）內，在儀器台板下放有一個連續的圓盤形光學楔板11（其單獨圓形如4-9圖的下面部分所示）。此楔板可以旋轉，能使楔板的任何一部分轉到乳白玻璃（3）的下方去。

當量測的感光圖片未放在目鏡底下時，則目鏡視場的中心部分出現直射光綫組成的光斑。而四周則較為黑暗，其黑度等於3。

當將所量測的感光圖片放入目鏡下的台板上後，假使所量測的感光圖片部分的黑度小於3.0，則在目鏡中看到的中心斑點的亮度，雖然是減小了，但卻要比四周的亮度大。此時如轉動圓盤形楔板，便可使中心斑點逐漸變暗，當到達中心斑點的亮度與四周的亮度相等時，則感光圖片量測部分與楔板的總黑度為3.0。

假使所加入的楔板黑度為 D_n ，則可很容易的算出所測定的圖片黑度 D_x 值，即

$$D_x = 3.0 - D_n$$

量測時，所求的光學黑度，可以在分划尺上直接讀出。

利用視覺比較得出的黑度不易十分精確，特別是當多次量測以後，視覺容易疲倦，且量測速度不高。光電黑度測定計就沒有這個缺點，它能比較客觀的計量黑度。

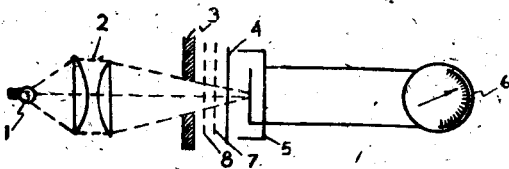


圖4-10. E.E.L. 光電黑度測定計的作用原理
1-光源；2-透鏡；3-光圈；4-感光圖片；5-光電板；
6-電流計；7-第一網板；8-第二網板

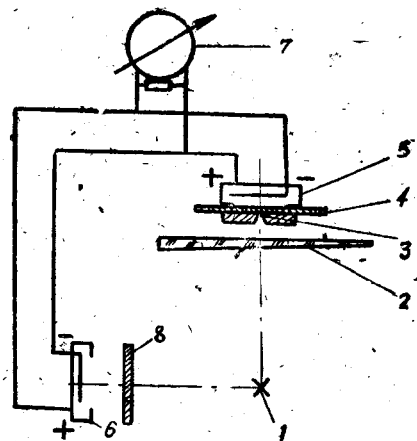


圖4-11. ДФЭ-10 作用原理圖
1-光源；2-圓盤光楔；3-小孔；4-感光圖片；
5-晒光電板；7-電流計

光电黑度测定计有两种，一种是使光线通过被量测的感光图片而达光电板，产生的电流进入电流计，在电流计上可直接读出黑度值。E.E.L. 光电黑度测定计即属于这种类型。其作用原理如图4-10所示，光源(1)的光线经过集光透镜(2)，光圈(3)和网板7与8，而后穿过感光图片4到达光电板(5)，按照透光的多少，光电板就产生相应强弱电流而进入电流计(6)，电流计上的分划值是按照与电流相应的黑度刻划的，因此可以直接读出黑度值。

另一种是带有光学楔板的光电黑度计，苏联 ДФЭ-10 光电黑度计即属于这一类型，其作用原理如图4-11所示。光源1的光线分成两路前进，一路通过有一定黑度的灰色玻璃8而到晒光电板6，光电板所产生之电流通入电流计7；另一路光线首先通过圆盘光楔2，穿过小孔3，而后通过感光图片4到达光电板5，光电板5所产生之电流亦通至电流计7，当光电板5,6所受的照度相等时，电流计指针便指在零位置。如果两光电板的照度不等，则电流计指针偏离零位。在量测感光图片时，须调节圆盘光楔2使电流计指针指向零位。当指针指向零位时，在圆盘光楔上取得的读数，即为感光图片量测部分的黑度。这一点与 ИФТ-11 黑度计相同，所不同的只是在此仪器不是目视的，而是光电的。

感光图片上各级的黑度量测以后，便将所得的黑度值填入专门的图表内(图4-12)。该图表的横坐标表示曝光量对数($\lg H$)，纵坐标表示光学黑度(D)，两相邻纵坐标之距离相当于横坐标的曝光量改变一倍。

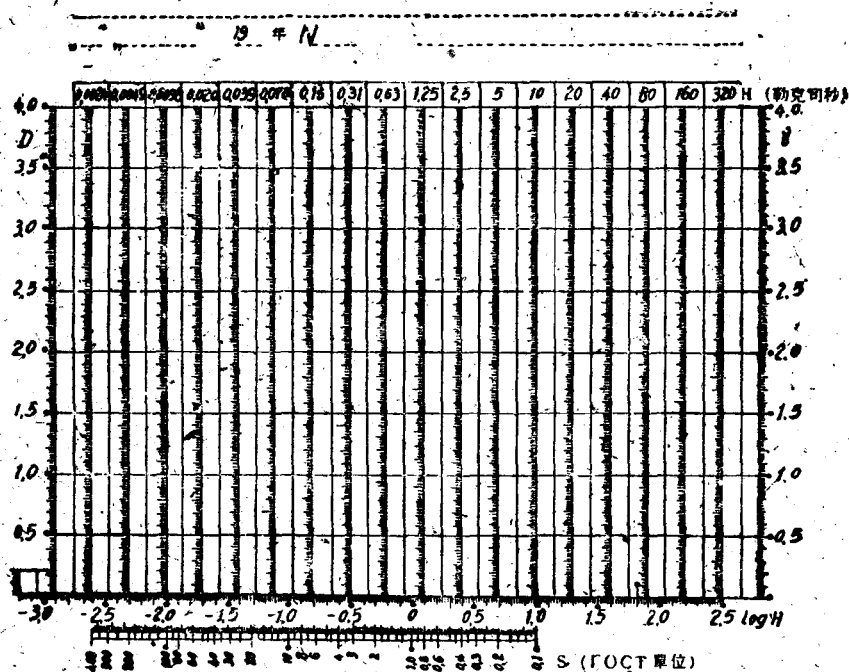


图 4-12 感光测定图表

在橫坐标軸下方所註的数字就是曝光量的对数值，在圖表上方水平線上所註的数字則为以勒克司秒計算的曝光量，感光圖片的各級黑度值分別表示于相应的縱坐标以后，便得到許多点，將这些点以均匀的綫連結起来，便得到一条曲綫，因为它代表着試驗材料的感光特性，故称为特性曲綫。依据显影時間的不同，（二分鐘，四分鐘，八分鐘，十六分鐘），各感光圖片可測定出不同的曲綫，这些曲綫总称为特性曲綫系（圖4-13）。

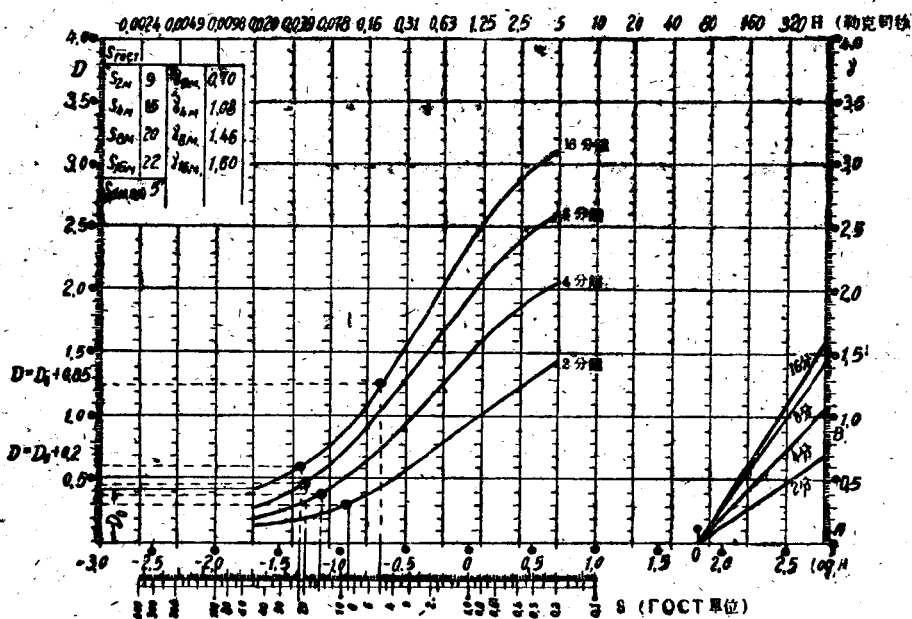


圖 4-13. 特性曲綫系

§ 4.4 特性曲綫的分析和感光材料基本特性的确定

特性曲綫是理解感光材料感光性能的理论基础。如果不理解特性曲綫就无从了解各种感光材料在摄影技术上所表现的性能，同时也根本不能知道曝光和显影对于摄影成果的影响。

现在我們来分析一下特性曲綫（圖4-14）。它包括以下几个部份：

第一部分是從 a 点到 b 点一段，这一部分不管曝光量是否增加，其光学黑度总是一常数，而且这个黑度值与未受光部分的黑度相等。这种不取决于曝光量的黑度称为朦翳黑度，以 D_0 表示之。

第二部分是從 b 点到 c 点一段，这一部分，黑度的大小便随着受光的多少而起

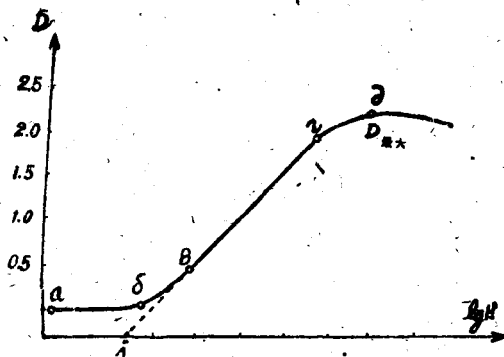


圖 4-14. 特性曲綫

变化。 6 点是刚能区别于朦胧黑度的最小黑度，也就是最初感受光线的起始点，故称为初感黑度。 6σ 部分表示曝光量对数等量增加，或者换言之，曝光量连续等倍增大，但是所相应的光学黑度的增加却是彼此不等，而是逐渐增大的，形成曲线向上弯曲，因此影像的黑白差别不能与景物明暗差别相适应。这一曲线段称为曝光不足部分。

第三部分是由 σ 到 ν 的一段，这一部分的光学黑度是相等增加的，即曝光量以等倍数增大，或曝光量对数值等量增大，其所相应的光学黑度也等量增大，因此这一段为直线，它能比例的表达出景物的明暗差别，故称为曝光正常或标准部分。

第四部分是 $\nu\theta$ 部分，在这一段内，光学黑度的增加又不与曝光量的增加成比例了，它与 6σ 段相类似，不过其现象却相反。即曝光量等倍增大，而其所相应的光学黑度的增量反而逐渐减小，并且到 θ 点时增量降为零。曲线形成向上凸起，这一曲线段称为曝光过度部分。

θ 点是相当于某感光材料，在一定的显影条件下所得的最大黑度点，其黑度以 $D_{\text{最大}}$ 表示，若曝光量再次增大，则黑度将减小，也就是说曲线就要向下弯。曲线的这一部分称为影像反转部分。

如果将特性曲线的直线部分延长，便可在横轴上得到一个交点 i ，这一点称为惰性点。

利用特性曲线可以确定下列主要摄影特性：感光度，反差系数和曝光宽容度，此外朦胧数值也是感光材料的一个重要特性，它可以利用量测感光图片的未受光部分之黑度来确定。

感光度：当比较两种不同的感光材料试样时，若在同样曝光量的条件下，其中一种所得的黑度较大，那我们称这一种材料的感光度较高。

因此我们可以取一定的光学黑度作为标准，来比较相应于这个黑度的曝光量，有时也采用位于惰性点的黑度和初感黑度等来作为比较感光度的标准。一般而言，在一定显影条件下产生一定摄影效果（即一定黑度）所相应的曝光量 H 的倒数值，就称为感光层的感光度。可以下式表示

$$S = \frac{k}{H}$$

式中 k 是任意选择的常数。确定感光度的系统有好几种，今将最常见的叙述如下：

在苏联国家标准ГОСТ系统中，确定感光度所根据的曝光量（勒克·秒），是必须超过朦胧黑度0.2所相应的曝光量（见图4-12），因此感光度可以根据下列公式来确定：

$$S_{\text{ГОСТ}} = \frac{1}{H_{D=0.2+D_0}} \quad (4-6)$$

求感光度时并不需要进行计算，可用标准图表上所画的感光度的分划（如图4-12横坐标轴以下的分划尺），以图解方法求得。从相应于感光度标准的黑度点作一直线，垂直于图表下方的感光度分划尺，根据此分划尺即可读出感光度的数值。上述光学黑度的数

值，相应于特性曲线上的一点，从这一点起，可以构成质量完全令人满意的影像，对于绝大多数摄影物体来说，用 Γ CT 为单位来确定感光度的方法，都可以保证正确地确定曝光量。

空中摄影由于大气光学条件的影响，航摄软片上的影像不是以超过朦胧黑度 0.2 的黑度为标准。根据空中摄影实际研究，正常曝光的航摄负片要保证地物的判读，必需使其平均黑度达到能超过朦胧黑度 0.85，因此航摄软片的感光度是以下列公式表示：

$$S_a = \frac{10}{H_{D=D_0+0.85}} \quad (4-7)$$

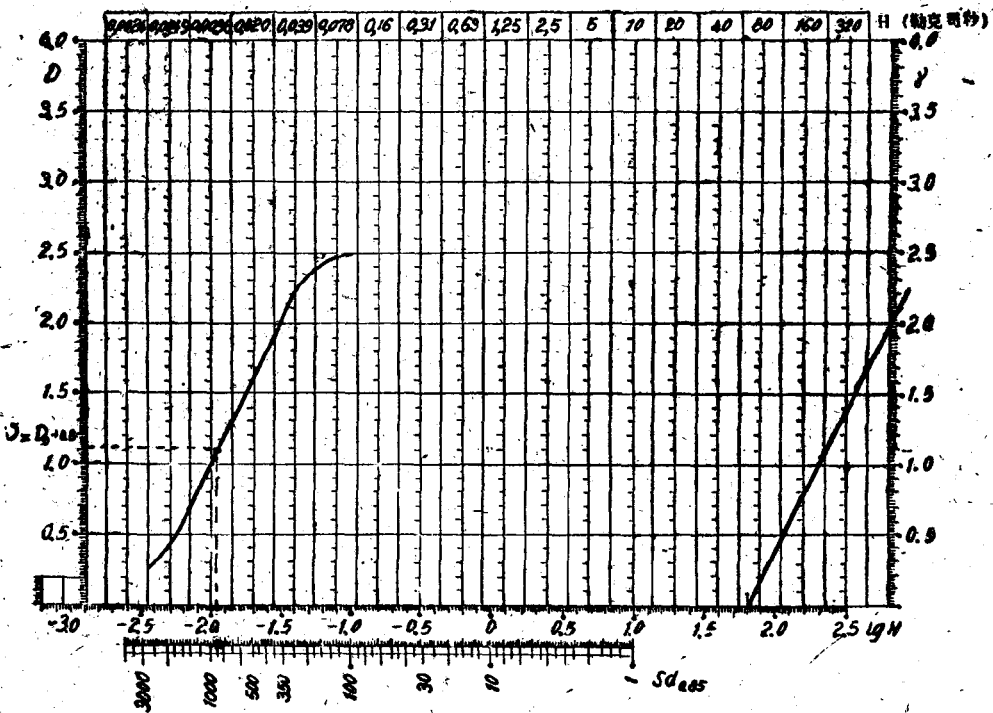


圖 4-15. 試驗航攝軟片時所使用的感光測定圖表。

在赫德(H&D)系統中，感光度的確定是以相应于惰性点的曝光量为标准的，因此它按下列公式計算：

$$S_i = \frac{10}{H_i}$$

式中 S_i 为根据惰性点所确定的感光度。

H_i 为相应于这一点的曝光量。

用上述方法所得的感光度 S_i 值，不能給攝影時計算所需的曝光時間提供正确的标准，因为确定感光度 S_i 时，沒有考虑朦胧的数值。当朦胧值增大，則曲綫就向橫軸的上方移动，結果惰性点就向左迁移，即向曝光量小的一方移动，感光度好像是增大了，

这是不符合实际的。

在許納尔 (sch) 系統中, 感光度是以初感黑度所需的曝光量为标准的, 它所采用的感光計与赫德系統的感光計相仿, 其曝光量也是用切口圓盤来調节的, 不过切口大小不同, 它分 20 級, 各級註有号碼, 每級切口的曝光量之比为 1:1.27, 最大切口的曝光量为最小切口的 100 倍。感光材料在这种感光計上曝光并經显影后, 看那一級切口的号碼刚好能区别出来, 則此号碼数字就作为該試驗材料的感光度数值。例如数字在第 18 个切口出現, 則試驗材料的感光度便定为 18°sch , 由此可知 sch 系統的感光度数值, 不画特性曲綫就可求得。

在德国工業标准 (DIN) 系統中, 感光度是以超过朦翳黑度 0.1 的黑度所需的曝光量为标准的。它采用一个特殊的感光計, 用一个三十級的标准光学楔板来改变曝光量。此楔板黑度为 0.1—3.0, 每級黑度差为 0.1。試驗材料經曝光和显影后, 用黑度測定計找出超过朦翳 0.1 黑度的所在級数, 然后将此級数乘 1/10, 所得乘积即为此系統的感光度。例如超过 0.1 的黑度落在第 18 級, 則感光光度为 $18 \times \frac{1}{10} = 18/10 \text{ DIN}$, 以这样方法取得感光度亦不須画出特性曲綫。

除上述的四种系統以外, 尚有 Westen, ASA 等系統。这些系統由于使用仪器和确定方法各不相同。因此其感光度不可能精确的从这个單位轉化到另一單位。为实用方便起見, 將其大概的轉換数值列于表 4-3 中:

表 4-3

感 光 度 数 值					
ROCT	H&D ₁₀	sch	DIN	Westen	ASA
9	200	22	10/10	8	10
14	300	24	13/10	12	15
18	400	25	14/10	16	20
22	500	26	15/10	20	25
28	600	27	16/10	24	30
36	800	28	17/10	32	40
44	1000	29	18/10	40	56
56	1200	30	19/10	48	60
66	1500	31	20/10	60	75
90	2000	32	21/10	86	100
130	3000	34	23/10	120	150
180	4000	35	24/10	160	200
250	6000	37	26/10	240	300

反差系数: 反差系数与感光度一样, 是感光層的一个重要特性。它能說明感光層表达景物亮度等級的能力。如果在試驗材料的两个部分上所受的曝光量为 H_1 和 H_2 , 显影以后所产生的相应黑度为 D_1 和 D_2 , 則黑度差 $\Delta D = D_2 - D_1$ 和相应的曝光量对数之差 $\Delta \lg H = \lg H_2 - \lg H_1$ 的比值就是反差系数。当 $\Delta \lg H$ 甚小时, 从数学关系知道比值 $\Delta D / \Delta \lg H$ 便代表特性曲綫的坡度, 特性曲綫上的坡度不是完全相等的, 在曝光不足和曝光过度

部分較小，而在直線部分最大，感光層的反差系数是指表达景物亮度等級的最大能力，也就是指直線部分的坡度。通常反差系数以希腊字母 γ 表示。即

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1} \quad (4-85)$$

式中 D_1 为相应于曝光量 H_1 的黑度， D_2 为相应于曝光量 H_2 的黑度；并假定它們都是落在直線部分上。

γ 值亦可以特性曲線的直線部分的两端点的黑度差和它所相应的两曝光量对数差表示，即

$$\gamma = \frac{D_{\text{最大}} - D_{\text{最小}}}{\lg H_{\text{終}} - \lg H_{\text{始}}} \quad (4-86)$$

从公式(4-86)知道反差系数可以根据特性曲線計算。如果从特性曲線上直線部分的 N 点引一条直線(圖 4-16) 平行于縱

軸，而从直線部分上另一点 K 引一条直線平行于橫軸，則二線相交得一直角三角形。三角形的一边表示黑度增量 $D_2 - D_1$ ，而另一边表示曝光量对数的增量 $\lg H_2 - \lg H_1$ ，于是

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1} = \frac{NM}{MK} = \text{tg} \alpha$$

式中 α 表示特性曲線的直線部分与橫軸的交角。

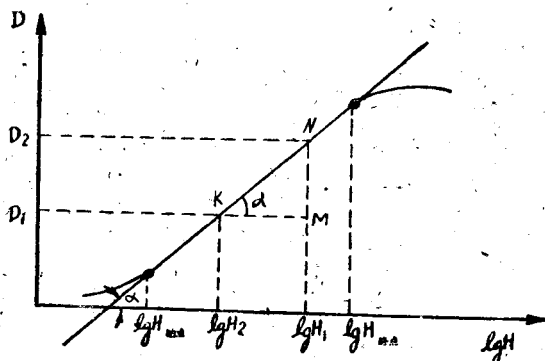


圖 4-16. 反差系数的确定

换言之，反差系数就是特性曲線的直線部分与橫軸交角的正切。因此交角愈大，即曲線愈陡，則反差系数就愈大。

当黑度的增量和相应的曝光量对数的增量相等时，反差系数就等于 1，如圖(4-17a) 因为：

$$(D_2 - D_1) = (\lg H_2 - \lg H_1)$$

所以

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1} = 1 = \text{tg} \alpha$$

此时角度 α 等于 45° ，景物亮度的等級就完全正确的恢复了。

当 $\gamma > 1$ 时(如圖 4-17b)，亮度等級的表达就比较硬，也即过份地放大了景物的亮

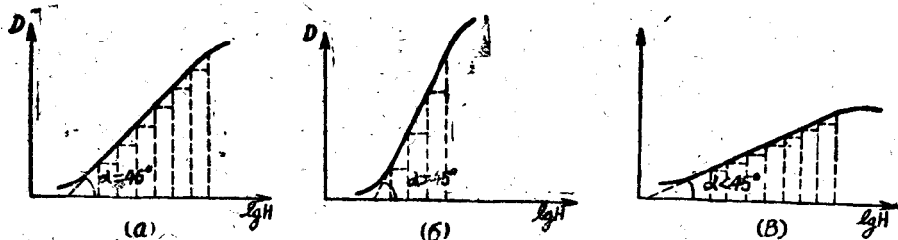


圖 4-17 反差系数与表达景物亮度等級的关系

度差；当 $\gamma < 1$ 时（如图4-17b），亮度等级的表达就较软，也即缩小了景物的亮度差。

反差系数可以在感光测定图表上图解求得（见图4-13）。在 $\lg H$ 轴上取一点 O ，使此点离右边垂直分划尺的距离为一个单位长度，从 O 点引一直线平行于特性曲线的直线部分，根据此直线在右边的垂直分划尺上的交点，就可读出 γ 值。

曝光宽容度：根据特性曲线，还可确定感光材料对于实际摄影具有重大意义的一个特性，即为曝光宽容度。曝光宽容度是感光层能按比例表达景物最大与最小亮度的范围。

我们已从前面知道，能按比例表达景物亮度差的是特性曲线的直线部分。因此曝光宽容度可以从特性曲线的直线部分的两个端点所相应的曝光量求得。直线部分两端点所相应的曝光量之比就是曝光宽容度，以 L 表示之则得：

$$L = \frac{H_2}{H_1} \quad (4-9a)$$

例如，如图（4-16）中，假设直线部分起点所相应的曝光量为10勒克司秒，终点所相应的曝光量为1000勒克司秒，则

$$L = \frac{1000}{10} = 100$$

曝光宽容度一般都以对数式表示，即以直线部分两端点所相应的曝光量对数之差来表示，

$$L = \lg H_2 - \lg H_1 \quad (4-9b)$$

就以上例的数据代入，则得

$$L = \lg 1000 - \lg 10 = 3 - 1 = 2$$

故上面两种表示形式实际上是一样的，因为100的对数就是2。

朦翳。朦翳数值 D_0 ，正如上面所述，可由量测感光图片上未曝光部分的黑度的方法来确定。但有些软片片基是染色的，或者是背面粗糙的，在这种情况下，就应该从所得的整个黑度值中减去片基的黑度后才得出朦翳值 D_0 。

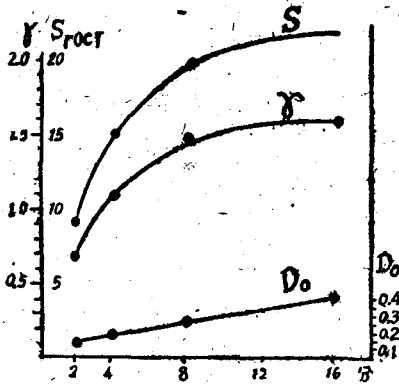


图 4-18 S, γ 和 D_0 与显影时间 t_{np} 的关系曲线

感光度、反差系数和朦翳对于显影时间的关系。感光材料的基本特性：感光度，反差系数和朦翳，不仅取决于该感光材料的本性，而且也与显影时间有关。

我们从图（4-13）的相同曝光而以不同显影时间显影的特性曲线系中，对于每一条特性曲线都可求得一组感光材料的基本特性数值，如果以特性数值、感光度、反差系数和朦翳为纵轴，以显影时间为横轴，则可分别得到各特性与显影时间的关系曲线，如图（4-18）所示。这曲线也即分别表示函数 $S = f(t_{np}), \gamma = f(t_{np}), D_0 = f(t_{np})$ 。从 $\gamma = f(t_{np})$ 函数的曲线中看出，在一定的显影

条件下，显影时间愈长， γ 愈大，开始时 γ 增加得很快，但时间再加长， γ 的增加便逐渐缓慢，以至最后增大到一定显影时间时， γ 不再增大，达到反差系数的最大值 $\gamma_{\text{最大}}$ 。当 γ 达最大值后，如再增加显影时间，则由于雾度的增大， γ 就反而逐渐减小，所以靠增加显影时间来增大反差系数是有一定限度的。在最大反差系数以内， γ 值随着显影时间而增加。 γ 值增大亦就表示着显影程度的增大；故 γ 又称为显影因素。一定的显影程度有一定的相应 γ 值；因此可以利用 γ 值来控制显影。

$\gamma_{\text{最大值}}$ 主要取决于乳剂的特性，故为感光材料固有特性。感光材料根据 $\gamma_{\text{最大值}}$ 可以分为软性、中性和硬性三种。 $\gamma_{\text{最大值}}$ 也略受显影液成分的影响，在硬性显影液中可以较短的时间达到 γ 的最大值，而软性显影液却需要很长的时间才能达到 γ 的最大值，且所得的 $\gamma_{\text{最大}}$ 要比前者稍小些。

雾度与显影时间的关系，即函数 $D_0=f(t_{\text{np}})$ ，从图(4-17)中可以看出它是一个近似的直线关系。也就是雾度是随着显影时间正比例增加的。在实际摄影中，每一种负片都有规定的最大许可雾度值。例如：航摄负片最大许可雾度为0.3。

从 $S=f(t_{\text{np}})$ 函数的曲线中可知，感光度也是随着显影时间而增大，其增大的情况与 γ 的变化相类似，不过在显影刚开始时，增大率比 γ 还要大些。既然同一种感光材料在相同条件下曝光以后，经过不同的时间显影，所得出的感光度数值不同，那末我们将以那一个显影时间所得的感光度数值来代表感光材料的性能（即包装上标志的性能）呢？

各种感光材料所选取的代表性能的方法不完全相同的，航摄软片采用 S_d ，也就是当许可雾度0.3时所达到的最大感光度数值，通常这个数值与 γ 的最大值相符合。因此航摄软片采用

$$S_{d\text{最大}} = \frac{10}{H_{D=D_0+0.85}} \quad (4-10)$$

其他的感光材料，通常都是不显影到 $\gamma_{\text{最大值}}$ 的。所以不能采用 $S_{\text{最大值}}$ ，而应根据推荐的 γ 值来确定感光度。兹将各种感光材料推荐的反差系数 $\gamma_{\text{推荐}}$ 列举如下表。

表 4-4

感光材料的种类	$\gamma_{\text{推荐}}$	$\gamma_{\text{推荐}}$ 的许可误差
电影软片	0.65	± 0.05
电影正片	1.80	± 0.20
摄影干片	1.36	± 0.10
半色调复照干片	1.50	± 0.10
线划的复照干片	2.00	± 0.20

§ 4.5 感光材料基本特性在摄影实践中的意义

上节所讨论的几个感光材料基本特性，在摄影实践中应用价值很大。

每个摄影景物都有着不同亮度部分，最大亮度与最小亮度之比称为景物的亮度差 U 或称景物反差，以公式表示之：

$$U = \frac{B_{\text{最大}}}{B_{\text{最小}}} \quad (4-11)$$

表 4-5 所列即为几种景物亮度差的范围。

表 4-5

景 物 种 类	亮 度 差 的 范 围
从飞机上看地面(即航空景物)	3—5
开敞风景(不包括天空)	4—10
日光下的明亮建筑物	5—10
开敞景物(含有天空的)	20—60
以天空为背景的暗色建筑物	100—200

在最大亮度与最小亮度这两个极限亮度之间，有着很多的中間亮度，一般可將它分成若干亮度等級。在实际摄影曝光时，感光材料的各个不同部分上，便受到不同的曝光量，在受到曝光量最小的部分相当于景物最暗部分。但是曝光量除了取决于該景物最暗部分的亮度外，还与曝光时间有关，因此曝光时间必需适当的选择。曝光时间的选择应当使得景物陰暗部分的影像有足够的黑度。按照 ГОСТ 系統所規定的感光度的标准是这个黑度不小于朦翳黑度加 0.2。对于某一定景物而言，如果采用的感光材料其感光度愈高，則曝光时间可愈短。当感光材料获得适当的曝光量后，則这时陰暗部分的影像具有足够辨認的黑度，景物中其余亮度較大部分，必然产生較大的黑度。这样从特性曲綫上所相应的位置来看，那末它們都落在最暗部分的影像黑度点之上。

由于負性的感光材料，其曝光寬容度較大，而一般摄影景物的亮度差并不是很大，因此所得的黑度均可落在特性曲綫的直綫部分，也就是景物的所有亮度都能用黑度按一定比例表达出来。

在同一摄影条件下，如果摄影时曝光量减少，那末各部分的影像黑度便沿着特性曲綫向左方移动，而相当于景物最小亮度部分的黑度落在曝光不足部分；如果曝光时间延長，影像黑度向右移动，景物明亮部分的黑度可能落在曝光过度部分。当感光層上受到的曝光量都落在特性曲綫的直綫部分，景物各个亮度等級的差别就会按一定的比例表达于負片上，这一点对構像質量很重要。如果景物的亮度等級有一部分落在曝光不足或者过度部分，那末該部分的亮度差别（負片影像上陰暗部分或者光亮部分）在負片上表达得不好，而是比較弱，也就是負片上的亮度差别比眼睛直接感受景物亮度差别小些。

从上面的叙述中可看出：第一，感光材料的寬容度应尽可能的大；第二，曝光时间应当正确，这样才可以使影像落在特性曲綫的直綫部分。

景物的亮度差与感光材料的曝光寬容度的关系可能有下列三种情况（如圖 4-19 所示）。

第一种情况： $U=L$ ，即景物的亮度差等于曝光宽容度。在这种情况下，只有一个合适的曝光时间能使影像完全按比例表达景物亮度，稍微增加或减少一些曝光时间，就有一部分影像会落在曝光过度或不足的部分，不可避免的要损失一些影纹，降低影像质量。

第二种情况： $U>L$ ，即景物反差大于曝光宽容度。在这种情况下，不论怎样来选择曝光时间，均不能使影像完全成比例的表达亮度；因为始终有一部分影像黑度要落在直线部分以外。

第三种情况： $U<L$ ，即景物反差小于曝光宽容度。这是最有利的一种情况，而且也是实际上最常遇到的情况。这时曝光时间可以在一定范围内变动。假使 U 比 L 小 n 倍即 $\frac{L}{U}=n$ ，那末很显然，曝光时间可以改变 n 倍。这样按不同曝光时间所得的负片，虽然影像的黑度每张负片不一样，但是每张负片上的影像仍然都能成比例的表达景物亮度。

反差系数 γ ，如同曝光宽容度一样，对表达景物的各种亮度也是很重要的，但是它的意义却不同。

反差系数 γ ，在颇大程度上能确定和影响影像的反差，但它却不等于影像的反差。我们不应将反差系数 γ 与负片（或者正片）上影像的反差 ΔD （光学黑度差）混淆起来。负片反差（负片上影像的反差）可用下列公式表示：

$$\Delta D = D_{\text{最大}} - D_{\text{最小}}$$

式中 $D_{\text{最大}}$ 为负片的最大黑度， $D_{\text{最小}}$ 为负片的最小黑度。 ΔD 值与 γ 值的关系可用图 4-20a

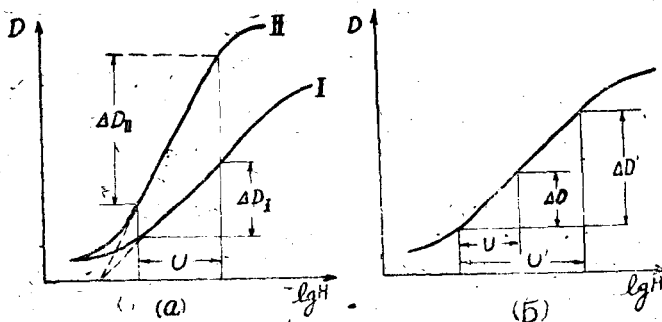


图 4-20. ΔD , γ 和 U 三者之关系

对亮度差 U 不同的两个景物摄影，而以相同的时间显影，则摄取 U 值大的景物所得的 ΔD 比摄取 U 值小的为大，即景物反差大，摄影后所得的黑度差也大。

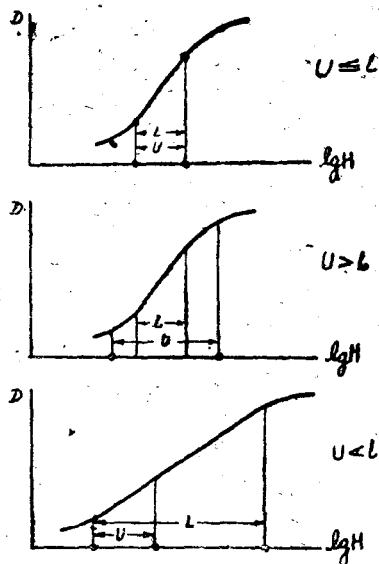


图 4-19 亮度差与曝光宽容度的关系

表示。该图中所绘的两种感光度相同，而 γ 不同的感光材料特性曲线，并假定是对同一亮度差 U 的景物摄影，由图可看出， γ 值较大的感光材料所得的黑度差 ΔD 较大，而 γ 较小的所得的黑度差亦较小。 ΔD 值也与景物的亮度差 U 有关（见图 4-20b），同一种感光材料，

摄影时感光层上受的曝光量 $H_{\text{最大}}$ 和 $H_{\text{最小}}$ 与相应的景物亮度 $B_{\text{最大}}$ 和 $B_{\text{最小}}$ 成比例, 即

$$\frac{H_{\text{最大}}}{H_{\text{最小}}} = \frac{B_{\text{最大}}}{B_{\text{最小}}}$$

以对数形式表示为:

$$\lg H_{\text{最大}} - \lg H_{\text{最小}} = \lg B_{\text{最大}} - \lg B_{\text{最小}}$$

这样, 负片的黑度差可用下式表示:

$$\Delta D = \gamma(\lg H_{\text{最大}} - \lg H_{\text{最小}}) = \gamma(\lg B_{\text{最大}} - \lg B_{\text{最小}})$$

故得

$$\Delta D = \gamma \lg U \quad (4-12)$$

此时应该设想, 物体的影像是完全构成于特性曲线的直线部分。

在空中摄影中, 各个航摄地区的景物反差是不同的, 而航摄负片的黑度差, 又有一定的要求范围(0.6—0.9), 因此每个航摄地区都要根据事先估计的 U 值来选择适当的航摄软片, 使 ΔD 在 0.6—0.9 范围以内。

§ 4.6 光谱感光度(感色性)的测定

在 §4.4 中已详细叙述了感光材料的感光度, 但这个感光度只是说明感光材料对白色光线的感光程度。实际上, 被摄物体表面反射出来的光线含有不同颜色的单色光 (详见第三章), 而感光材料对各种单色光的感受程度是不同的, 它随着光学增感的程度而改变, 例如, 全色片对光谱的感受范围比正色片大。因此要正确的来估计摄影效果, 还必须了解感光材料对光谱中各单色波长的感应程度。这种说明感光材料对某一个单色波长的感应程度。称为光谱感光度。

测定光谱感光度, 最简单的方法是摄照光谱。摄照光谱所用的仪器称为摄谱仪。摄谱仪内最主要的部件是稜镜或者衍射光栅, 它能把光源发出的白光分离成光谱。因此摄谱仪有二种, 稜镜摄谱仪和衍射摄谱仪。

稜镜摄谱仪是将光源所发生的光线经过一个三稜镜分散为光谱, 以光源中一小范围的光带 (接近单色光) 作为光源, 用改变曝光时间的方法将试验材料摄成不同黑度组成的级谱。这样的感光级谱是单色光的照射所产生, 其相应黑度的曝光量已知, 因此在依次改变单色光线并拍摄若干条后, 把每条代表一定波长光线的一系列的黑度量测出来, 即可计算光谱感光度 S_{λ} 。

$$S_{\lambda} = \left(\frac{1}{H_{\lambda}} \right)_{D=1.0+D_0} \quad (4-13)$$

当求得许多 S_{λ} 值之后, 以感光度为纵轴, 波长为横轴, 可作出一条光谱感光度曲线 (见图 4-21)。

另外一种衍射摄谱仪 (图 4-22a), 一般均采用于实际工作中。从图可看出, 光源 1 的光线通过小孔 2 投射在衍射光栅 4 上, 经过光栅 4 的作用产生光谱, 并在毛玻璃 5 上

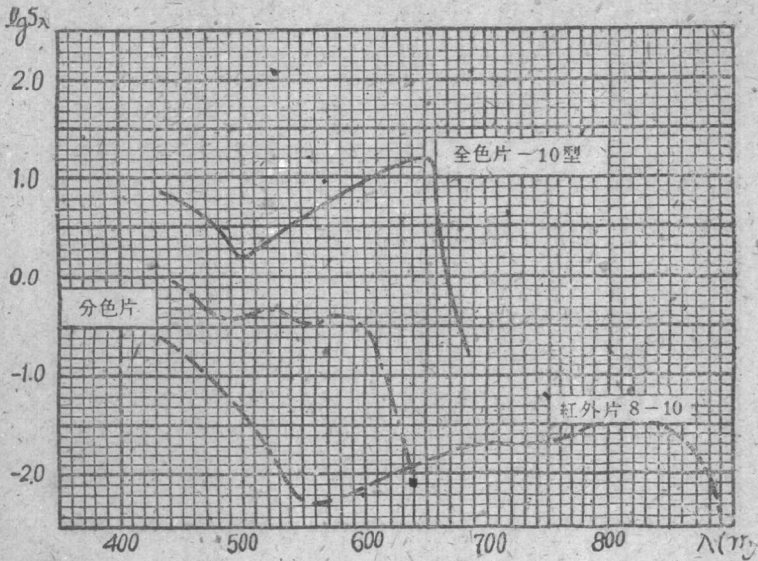


圖 4-21. 光譜感光度曲線

显现出来。

摄影光谱方法是，按曝光时间成几何级数增加逐次曝光拍摄。当曝光时间很短时，在试验材料上所得的，只是该感光材料对最灵敏的光谱部分感光显出黑度，当逐渐增长曝光时间后，感光材料对光谱另外部分也感光现出黑度，这样把各次摄得的光谱影像，

按波长拼叠，便可得到光谱图片（图4-22B）。从光谱图片中可以看出，该种感光材料对各色光线的感受程度。

为了不在多次曝光方面花费时间，可在摄谱仪小孔的前面放一个连续的或者梯级式的光学楔板，这样就可立即获得图（4-23）所示的光谱图

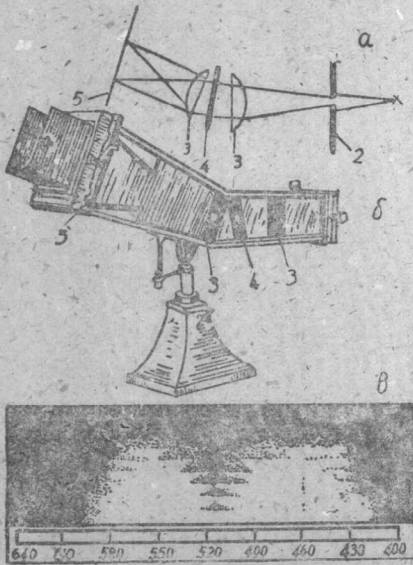


圖 4-22. 衍射攝譜儀

1—光源；2—小孔；3—透鏡；4—衍射光柵；5—毛玻璃

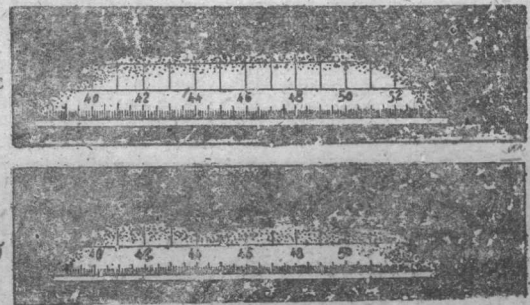


圖 4-23. 正色軟片的光譜圖片

a—是在半瓦特燈光下攝取的，b—是在日光下攝取的

形。該兩圖皆為正色片的光譜圖片，上面一個圖片是半瓦特燈光攝得的，下面一個是用日光攝得的。

在实际使用感光材料時，只要對該感光材料的感色性有一般的概念就夠了，所以也可以採用最簡易的方法，先將感光材料直接對光譜的顏色圖表進行攝影，顯影後量測圖片上的黑度，然後以縱軸表示黑度，橫軸表示光譜顏色，粗糙的繪出一條曲線，從此曲線中可大致的判斷出該試驗材料對各顏色的相對敏感性。

§ 4.7 光暈現象和乳劑層的分解力

在攝取特別光亮的物體時（如攝取日光照耀的窗子和發光物體等），往往在負片上的構像其輪廓模糊不清，這種現象就稱為光暈。光暈有兩種：漫射光暈（圖4-24a）和反射光暈（圖4-24b）。

漫射光暈是由于鹵化銀表面的散光，散射到鄰近顆粒上又由鄰近顆粒面再次散射，使得鹵化銀顆粒受光所產生。由于光線相繼擴散，使光線作用面擴大，於是光點的構像變成光斑，光斑的直徑比應有的影像比例尺大，當攝影物體愈明亮，或者乳劑層的感光性愈強，則漫射光暈就愈大；若乳劑層愈薄或者它的顆粒愈細，則漫射光暈愈小。漫射光暈是無法避免的，只能控制顯影程度使它減小。

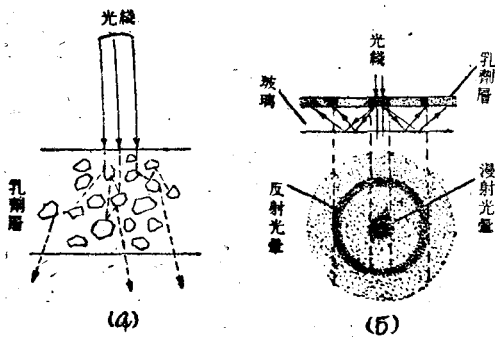


圖 4-24 光暈現象
a—漫射光暈；b—反射光暈

漫射光暈是由于片基反射光所產生的。其現象是在光束入射處附近的乳劑顆粒受到微弱反射光線的照射，使像點四周產生模糊圈。如果乳劑的片基很薄，則反射光暈與漫射光暈將接近於一致。由于一般攝影硬片，玻璃厚度大於1毫米，故兩光暈之間顯出一個圓環，一般軟片由于片基厚度只有0.12—0.13毫米，所以該兩種光暈合併在一起。

防止影像產生反射光暈的方法有下列幾種：

1. 在乳劑層和玻璃之間塗一層吸光的顏色層以消除光暈，故稱為反光暈層。該層主要是由動物膠和不影響乳劑感受而能吸收光線的色素組成。正色片宜用暗紅色素，全色片宜用暗綠色素。攝影經緯儀上用的硬片，是塗有二氧化錳的反光暈層，該層色素能在酸性定影液中退掉。

2. 在片基的反面塗一層與上法有相同性質的不起光化作用的顏色層。

3. 攝影軟片有採用染色的賽璐珞做片基以減少光暈。

分解力。乳劑層表達攝影景物微小細節的能力稱為乳劑分解力，它與物鏡分解力一

致。

致。

样，是以1毫米影像範圍內能清晰表达出来的間隔相等的平行細綫数目来表示。分解力的数值与乳剂鹵化銀晶体的分散度有关，因而也与構像的金屬銀有关。鹵化銀的晶体愈小，則感光層的分解力愈大。

除乳剂固有特性外，分解力尚决定于其他一系列的因素，如曝光、显影以及曝光时所用的光源的光譜成分等。

感光材料的分解力可用專門的仪器分解力測定計来測定(圖4-26)。这个仪器由两个套在一起的錐形筒組成，在較小的錐形筒內，安置灯和聚光鏡。在聚光鏡后裝置專門的試驗圖片(見第二章圖2-10)。較大的錐形筒是作攝影鏡箱用的，它可以將圖片縮得很小(大約縮小成1/25)，而使之投影到放有試驗乳剂層的焦面上。投影圖片所用的物鏡应为高質量的显微物鏡，并且要保證其焦面与乳剂層精确的重合。

分解力的数值也与圖片的形狀和圖片的反差有关。

試驗时，先將軟片用各种不同曝光時間攝照圖片数次，每次又拍攝若干張，然后在一定条件下，將这些攝有圖片的試驗片以不同的显影時間显影。显影后所得的影像用显微鏡放大50—80倍观察，根据能清晰表达最細綫条的影像，求出分解力的数值。因此分解力是曝光量适当而显影条件最良好时，在1毫米範圍內乳剂層所能表达出来的最多綫条数。

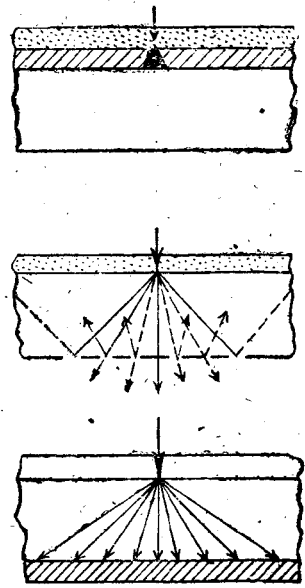


圖 4-25 消除光暈的方法

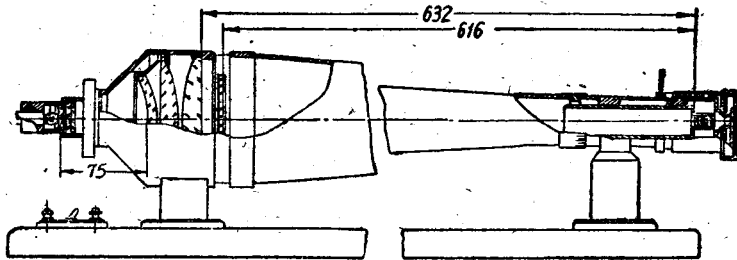


圖 4-26. 分解力測定計

假如对相同的感光材料，采用不同的显影液，則在每种显影液內，显影到一定黑度时，所得的分解力数值大致相同，因此显影液的成分只能很少影响分解力。

乳剂層內的散光現象会影响分解力，所以一切减少散光和光暈的措施，都会使分解力提高。

§ 4.8 像紙的感光測定

像紙的感光測定試驗，可以同負性材料一样，先作感光測定試片，然后量測試片的各級黑度，并作出特性曲綫，根据特性曲綫确定像紙的各个感光特性。

但是像紙是不透明的，其黑度怎样量測呢？我們知道一个絕白的表面，它可以反射所有的投射光綫，灰色的物体只能反射部分投射光綫，灰色程度愈是接近深灰，黑度愈大，反射的光綫就愈少。根据这个原理便可确定像紙的黑度。即像紙的黑度是以入射光强与反射光强作定量比較求出并以对数表示。

$$D = \lg \frac{F_{\text{入射}}}{F_{\text{反射}}} \quad (4-14)$$

苏联測定像紙感光特性的方法与其他国家不同，他們采用的是一种比較簡單的并且更接近于像紙实际使用条件的試驗方法，这种方法可以不必画出特性曲綫就能得到感光特性数值。

在沒有講这种方法以前，先叙述像紙与負片材料的感光特性在实际使用时的情况。由于負片是使用在攝影中，故为了估計曝光時間，則首先必須知道其感光度，然而对于像紙來說这种特性并不重要，它所着重的却是構成攝影影像时所使用的黑度范围；其次是，負片上的最小黑度可能很大，然而在像片上的最小黑度一般不允許太大，只許可有很小的黑度；再次是負片的最大黑度很少落到曝光过度部分，可是在像紙上，却常常要使用曝光过度部分，因此在負片材料上仅仅是使用特性曲綫的一部分——主要是直綫部分和一小段曝光不足部分，而像紙却几乎使用整个特性曲綫（由剛能辨別的黑度开始直到曝光过度部分的黑度止）；在負片上可以允許相当大的朦朧，但在像片上，即使出現很小的朦朧也能觉察出来，因而显著的影响了像片的質量。

另外，負片材料和正片材料在显影中所起的作用也是彼此不同的，像紙显影时能很

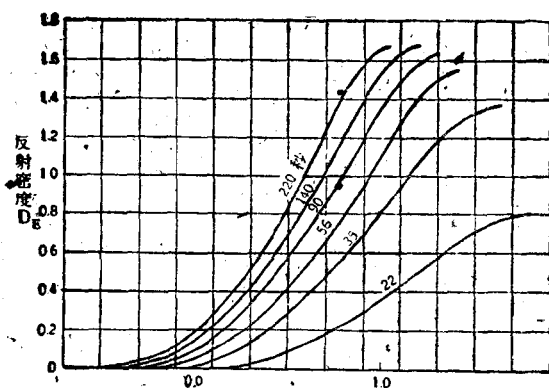


圖 4-27 像紙的特性曲綫系

快的（約 2—3 分鐘）就达到最大 γ 值，并且当达到最大 γ 值后，如果再繼續显影，其特性曲綫会平行的移动（見圖 4-27），曲綫在一定显影時間內有稳定的形狀。在曲綫获得稳定形狀阶段內，像紙的感光度仍然是逐漸增加的。

特性曲綫随显影時間平行移动到一定程度后，如果再繼續显影，特性曲綫不再平行移动而出現朦朧，因此应当根据朦朧来确定象紙的最長許可

显影時間。

据以上所述，可以知道像紙感光特性在使用上与負片材料是不同的，因此它的感光特性数值的确定标准亦有所区别。为便于將上述問題闡述清楚，还得引用圖 4-28 來說明。圖 4-28 是表示像紙感光測定数值的几何意义，从圖上看出，特性曲綫使用部分的起点是黑度的起点，而終点是相应于特性曲綫上使用部分上的两个端点的曝光量之比，这个比值称为像紙的曝光量有效范围 L ，从黑度起点到所使用的有效黑度的范围称为像紙

的有效黑度範圍 ΔD 使用。由于像紙特性曲線使用部分不僅是直線部分，還有曲線部分，所以不以其最大坡度表示像紙的反差係數，而是以曲線使用部分的平均坡度來表示。此平均坡度是聯結曲線使用部分的兩個端點的直線的坡度代表之，即

$$\frac{\Delta D_{\text{使用}}}{L} = \bar{g}$$

比值 \bar{g} 稱為平均坡度。

一般好的像片常使用像紙的整個有效範圍，因此蘇聯確定像紙的感光度，採用相應於曝光量有效範圍的中點的曝光量為標準。

$$S_B = \frac{100}{(H_1 + H_2)/2} \quad (4-15)$$

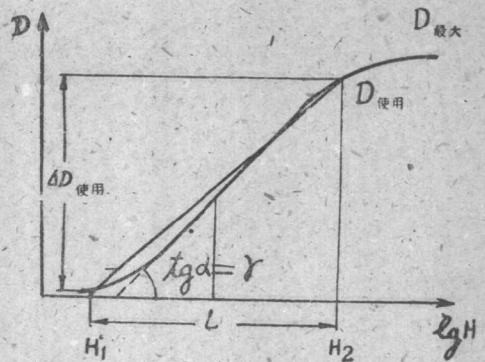


圖 4-28. 像紙的感光測定數值

蘇聯 ГОИ 感光計附有測定像紙感光性能的試驗器 (Тест-объект)。此試驗器是 9×12 厘米的薄片，它上面有三張含有相同航空景物影像但有着不同黑度差的負片：

OK: $\Delta D = 0.25$ (軟性負片)

K: $\Delta D = 0.65$ (中性負片)

H: $\Delta D = 1.10$ (硬性負片)

在負片的下方，有一梯級式光學楔板，共 30 級，常數為 0.1。由于楔板級數多，一行排不下，故分成二行，上行級數由 0—20 級，下行級數由 20—30 級 (見圖 4-29)。

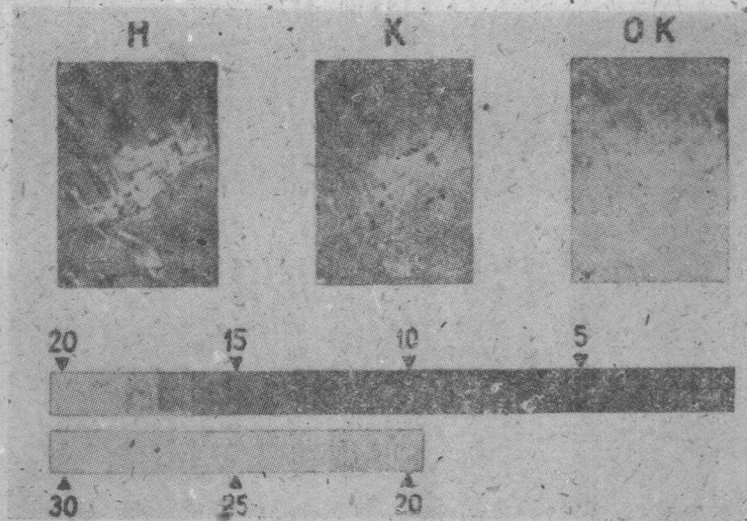


圖 4-29. 像紙的試驗器

試驗時，將需要測定的像紙放在像紙試驗器 (負片) 上面曝光，假如不需要確定感光度的話，可以不裝在感光計上，只要在普通光源的印像机上曝光就行。試驗像紙經顯

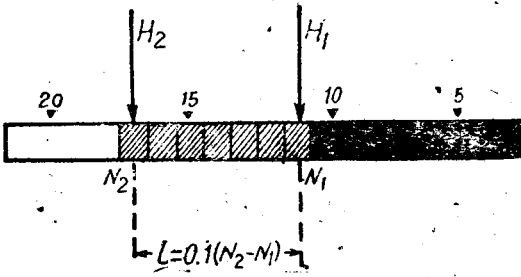


圖 4-30. 确定曝光量有效范围

的梯級級譜, 确定开始产生最小黑度处的号碼 N_2 (見圖4-30) 和最大黑度处的号碼 N_1 , 于是像紙的曝光量有效范围便可按下式求得;

$$L = 0.1(N_2 - N_1) \tag{4-16}$$

数值 L 越大, 象紙的反差越小, 近来各国常用 L 的数值表示像紙的反差程度, 并标明在像紙說明書上:

- 軟性的..... $L > 1.4$
- 中性的..... $L = 1.1 - 1.3$
- 硬性的..... $L = 0.7 - 1.0$
- 特硬性的..... $L < 0.6$

根据实验的結果知, 一張像片上的最大黑度常与像紙本身具有的最大黑度 D_{\max} 極接近, 另外 D_{\min} 又接近于零, 因此可以用下列的关系式求出平均坡度 \bar{g} :

$$\bar{g} = \frac{D_{\max}}{L} \tag{4-17}$$

由概括的实验数据知;

有光紙的 $D_{\max} = 1.4$

半光紙的 $D_{\max} = 1.2$

無光紙的 $D_{\max} = 1.0$

例如, 如果 $L = 0.8$, 对有光象紙, $\Delta D_{\text{使用}} = D_{\max} = 1.4$,

$$\therefore \bar{g} = \frac{1.4}{0.8} = 1.8$$

如果 $L = 0.8$, 对半光象紙, $\Delta D_{\text{使用}} = D_{\max} = 1.2$,

$$\therefore \bar{g} = \frac{1.2}{0.8} = 1.5$$

若要求感光度, 則必需裝在 ГОИ 感光計上利用标准光源曝光, 計算出相应于象紙感光測定試片上最小黑度部分和最大黑度部分所受到的相应曝光量 H_1 和 H_2 根据公式(4-15)就可算出 S_B 值。

影后, 評定象片的質量, 即可知道象紙的硬軟程度大致屬於那一种类型, 例如, 如果是有字母 K 的影像質量最好, 那末此試驗象紙是屬於硬性像紙; 同理如果 OK 的影像質量最佳, 則此試驗像紙是屬於特硬性的, H 的影像最好則為中性像紙。像紙的类型大致确定后, 再根据試驗像紙上出現

§ 4.9 濾 光 片

濾光片是一種吸光介質，它能改變透射光線的光譜成分。

攝影用的濾光片按其製造所用的材料可分成以下幾類：

玻璃濾光片——用有色玻璃製成；

膠質濾光片——直接用有色膠片以及將有色膠片黏在玻璃上或者夾在兩玻璃之間；

賽璐珞濾光片——用染色可塑性材料做成；

液體濾光片——于平行平面的玻璃器皿中裝染色液體。

其中光譜特性最穩定的是玻璃的濾光片，膠質濾光片較易退色，因而也容易改變其光譜特性。它的優點是可以任意按比例配製顏料，也就是很容易獲得各種各樣的特性的濾光片。液體濾光片可以調節液體濃度來改變光譜特性，它的缺點是體積大而笨重，且液體容易流出。

濾光片的光譜透光力量是最重要的一種特性。要確定濾光片的透光力，需確定它對一系列波長的單色輻射的光學黑度作出光譜透光曲線。

對單色透光輻射的光學黑度可用下列公式表示之：

$$D_{\lambda} = \lg \frac{F_{0\lambda}}{F_{\lambda}} \quad (4-18)$$

這裡 $F_{0\lambda}$ 是指波長為 λ 的射入濾光片的光強，而 F_{λ} 是同樣波長的光由濾光片射出的光強。

D_{λ} 可使用儀器來測定。在求得許多波長的 D_{λ} 值之後，便可用橫軸表示波長 λ ，縱軸表示黑度 D_{λ} ，作出濾光片的透光曲線（或稱不透光曲線）。圖(4-31)即表示濾光片的透光曲線。從該曲線可知該濾光片能完全透過 $\lambda = 550 \text{ m}\mu$ 的光線。對 $550-450 \text{ m}\mu$ 的光線是局部透過，而對於 λ 小於 $450 \text{ m}\mu$ 的光線，則實際上不透過。

按照光譜透光的特点，濾光片又可分為下列幾類：

1. 單色濾光片：它只能讓很狹窄的光線通過（圖 4-32a）。這樣的濾光片僅用於科學研究工作，例如顯微攝影。

2. 選擇濾光片：其透光帶比單色濾光片寬，例如多色復照所用的各種濾光片，能分別通過三個原色（藍、綠、紅）的光譜帶中的一個（圖 4-32b），攝影實驗室照明用的濾光片都屬於這一種。

3. 補償濾光片：它不能顯著地分出光譜某一部分，但能稍許改變光譜成分，蘇聯 ГОИ 感光計上取得標準光源的濾光片，即為這種濾光片（圖 4-32c）。

地面攝影都是使用補償濾光片，其主要用途是改正顏色的表達。由於經過光學增感後的感光層對於顏色的感光與人眼感受不同，人眼感受最靈敏，感覺最明亮的是黃色光（ $\lambda = 560 \text{ m}\mu$ ），而最暗的是藍光，但是感光層感覺最明亮的（即最靈敏的）色光卻是藍光。某些全色乳劑所表達的紅色比眼睛所感覺的要淺些。因此為了使感光材料表達顏

色接近于眼睛视觉的感受，应使用黄色补偿滤光片。

地面摄影测量用的滤光片也列入这一类。地面摄影测量有时为了特殊的目的，不是用滤光片来改正颜色的表达，而是用滤光片来消除或改正某部分光谱带的通过。

4. 减色滤光片：只能吸收很狭窄的一部分光谱，它刚好与单色滤光片特性相反，绝大部分光谱部分都能通过（图 4-32B）。

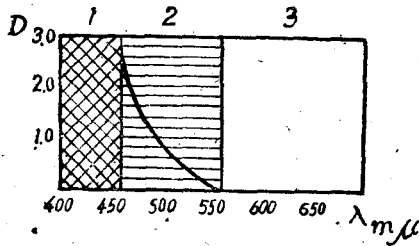


图 4-31. 滤光片的透光曲线
1—完全吸收带；2—局部透光带；
3—完全透光带

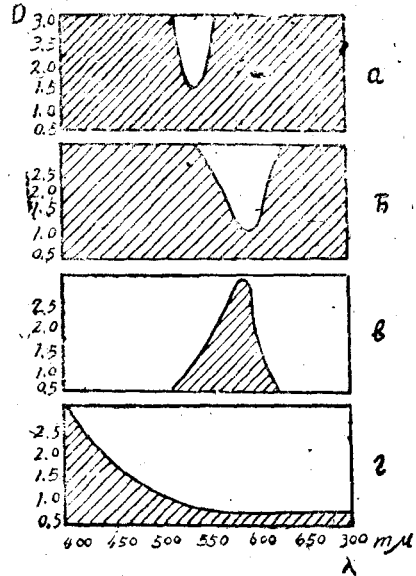


图 4-32. 各种类型的滤光片
a—单色滤光片；b—选择滤光片；
c—减色滤光片；d—补偿滤光片

摄影用的滤光片要求很高，因为它是摄影光学系统的一部分，尤其是对空中摄影用的滤光片，要求更严格。若滤光片质量不好，会使影像变形以及降低影像的清晰度。用于其他方面的滤光片，其要求可以少许低些。

空中摄影滤光片必须是十分纯洁的平行平面玻璃，航空摄影机焦距愈长，则滤光片的表面平度愈应精确。在玻璃中不应当有增加散光的汽泡和节痕。此外若滤光片表面与平面的不符程度超过 1μ 也是不允许的。

若滤光片的楔形程度很大 ($>0^\circ.2$)，则当航摄机焦距很大时，它就会引起影像的显著位移，滤光片的许可楔形程度可按下列公式计算：

$$i_{\max} = \frac{6700}{f_k} \Delta_{\max} \quad (4-19)$$

式中 Δ_{\max} 表示影像的许可最大位移值（以毫米为单位）， f_k 表示航摄机的焦距。

航空摄影滤光片的特点在于它的光谱透光曲线由完全透明急剧转变为不透明，也就是曲线坡度很陡（图 4-32）。而在地面摄影用的滤光片，其透光曲线的坡度总是比较缓和（特殊目的除外），因为地面摄影一般均不要求完全消除某一光谱带，而只要求校正那些对感光材料感光较强的光线。

滤光片的摄影特性。在利用滤光片摄影时，由于滤光片要吸收一部分光线，所以必需增大曝光时间。测定这种光的损失（指滤光片吸收），可采用感光测定法求得。即在标准光源下测定感光层一般感光度以后，再用试验滤光片把标准光源遮上，然后测定感光

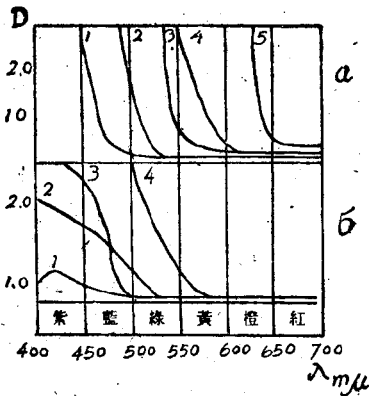


圖 4-33. 各种濾光片的光譜特性
 a. 空中攝影濾光片：
 1—淺黃色；2—黃色；3—橙黃色；
 4—橙色；5—紅色
 b. 地面攝影用濾光片：
 1—淺黃色；2—黃色；3—中黃色；
 4—橙黃色

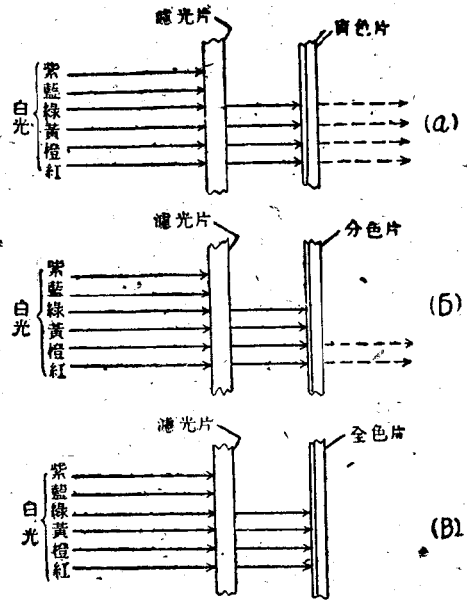


圖 4-34 各种增感乳剂对不同波長光綫的关系

層对通过濾光片后的感光度，这个感光度称为有效感光度。

普通感光度与有效感光度之比称为濾光片倍数 K_{ϕ} 。

$$K_{\phi} = \frac{S}{S_{\phi}} \quad (4-20)$$

濾光片倍数表示，用某种濾光片攝影比不用濾光片攝影时所需增加的曝光時間的倍数。

濾光片的倍数并不是一个常数，它随感光材料的光譜感光性、光源的光譜成分和攝影景物的光譜特性而变。若乳剂对長波光綫的增感愈好，則濾光片的倍数愈小；因为这样能使透过的光綫較多的作用于乳剂層上。例如采用黃色濾光片攝影，若使用的是盲色片，則倍数在理論上应是無穷大，因黃色濾光片阻止藍光通过，而盲色片只能对藍光感光（圖 4-34）。若这时改用正色片或全色片，則濾光片倍数可縮小（圖 4-34 b b）。

茲將航空攝影濾光片在标准光源 5000°K 下对不同航攝軟片所确定倍数举例表如下：

表 4-6

濾光片的号碼	空中攝影濾光片对各种軟片的倍数			
	分全色片	6 型	10 型	紅 外 片
2	1.8	1.6	1.8	1.5
3	3.2	2.0	2.0	2.0
4	5.7	2.8	2.8	2.0
5		4.6	4.0	5.0

第五章 感光材料的制造概述

§ 5.1 感 光 乳 剂

感光材料主要是由片基和乳剂层组成的。片基是玻璃的常称摄影硬片，片基是赛璐珞的叫摄影软片；片基是纸的即为像纸。根据乳剂层的特性也可以将感光材料进行分类，例如可将其分为未增感的，正色的和全色的等。乳剂层不能直接涂布在玻璃和赛璐珞的片基上，而在纸质片基上，虽然可以直接涂布乳剂层，但必须使片基不受乳剂的影响。因此在任何情况下，在乳剂层和片基之间必须要涂一层中间层。在某些情况下，中间层上涂有二层或甚至于三层乳剂，并且有时在乳剂最上层上还加一层明胶保护层。这样一来，感光材料的结构就很复杂了，见图 5-1)。

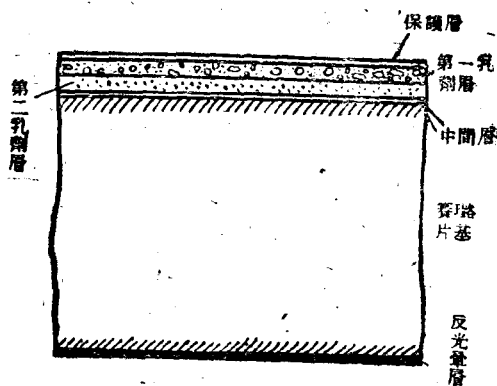


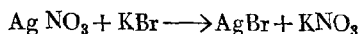
图 5-1. 现代摄影软片结构

感光乳剂主要可分两类。即负性乳剂和正性乳剂。负性乳剂是明胶的水溶液，其中含有悬浮状态的溴化银微粒和少量碘化银微粒。负性乳剂的

感光性特别高，其制造技术最复杂。正性乳剂同样也是明胶的水溶液，不过其中包含的可能是溴化银，可能是氯化银与碘化银的混合物，或者仅是氯化银。

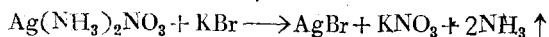
制备乳剂有两种方法，即中性法和加氨法。

中性法：就是在含卤素盐的明胶溶液中加入硝酸银溶液。因而生成卤化银，其反应式如下：



这种方法的特征是乳剂颗粒借助于溴的剩余量和高温（70—100°C）煮沸而成。故又名煮沸法。

加氨法：就是首先在硝酸银溶液内加氨，使它生成银的氨络物，然后把这银的氨络物加入含有卤化盐的明胶溶液，而生成卤化银。其化学反应如下：



如果用碘化钾或氯化钾，那也能产生类似的反应。这方法可以不必在很高的温度（只要45°—50°C）下就能使乳剂颗粒成长。

上述两种方法在生产中都采用。一般制造高反差乳剂大多采用加氨法。

乳剂制造大致可分为下列几个技术过程：

1. 原料溶液的配制；

2. 乳化；
3. 第一次成熟；
4. 冷凝和水洗；
5. 第二次成熟；
6. 塗布或冷凝貯藏。

圖 5-2 即表示乳剂制造

的技术过程簡圖。

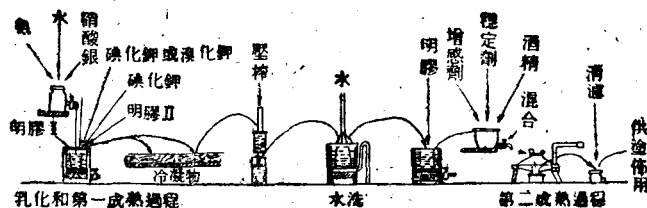


圖 5-2. 乳剂制造的过程

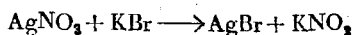
(一)原料溶液的配制

感光乳剂制造是一种非常精細的化学工業，它的全部技术过程都是要求非常严格的。因此它对使用的原料要求也很高。通常制备乳剂用的原料都須在化学純 (C.P.) 以上的規格。特别是对于明膠的选择有着更多的要求。配制溶液应采用蒸餾水，其他水則含有雜質均不适用。制造乳剂的用具应严格避免用鉄，銅等重金屬，而应当采用銀質、鍍質和不銹鋼的用具，或者用瓷器和搪瓷器替代。

茲举一种負性乳剂的配方如下：

甲， 溴化鉀	200克
碘化鉀	5克
明膠	125克
蒸餾水	1750毫升
乙， 硝酸銀	250克
氨水	至沉淀后溶
蒸餾水	750毫升
丙， 明膠	250克
蒸餾水	1250毫升

硝酸銀和溴化鉀（正性乳剂中可能是氯化鹽）是生成感光的溴化銀的主要原料，按照化学反应式。



溴化鉀分子量(119)約为硝酸銀分子量(170)的三分之二，但实际应用上，溴化鉀的用量常大于它的反应当量。特别是制备高感光度的乳剂，更需要有过剩的溴化鉀，因为它在乳剂制造过程中有促进乳剂顆粒成長和防止矇翳产生的作用。明膠是卤化銀微粒的分布介質，并且在頗大程度上，能决定乳剂的感光度，它的用量随所制乳剂的种类不同，一般約为全部乳剂重量的十分之一，明膠应預先称好，浸水使它膨脹，然后加热，才易溶化。加微量的碘化鉀可以提高乳剂感光度，其含量一般为卤化物的1—6%，加氨水应加到最初生成的棕黑色氧化銀沉淀复溶为止。

除上述基本溶液以外，尚須配制一些附加剂溶液，例如，穩定剂、坚膜剂和增感剂溶液等。

(二)乳化

原料溶液混合的过程称为乳化过程。这工作在暗室紅灯光下进行，混合时，按照规定条件，將硝酸銀溶液倒入含有鹵化鹽的明膠溶液中，并立即攪拌，这时便产生微小的鹵化銀晶体。由于明膠的作用所产生的微晶体不会沉淀，而成乳白色悬濁状态存在。这种含有悬濁鹵化銀的明膠溶液称为感光乳剂。

乳化过程是一个决定性的阶段，在这阶段中确定了感光乳剂中鹵化銀的初期分散程度。鹵化銀的初期分散程度对乳剂攝影特性——感光度，反差系数和曝光寬容度等起着决定性的影响。因此乳剂制造工作者特别重視这一过程。

鹵化銀晶体的形成基本上可分两个阶段，即晶核的形成阶段和成長阶段。根据 С. П. 舒瓦洛夫研究，乳化中生成的鹵化銀的分散程度 (q) 与晶核生長的速度 (W) 和晶核形成的速度 V 有关，以公式表示之，即为

$$q = \frac{W}{V} \quad (5-1)$$

从公式(5-1)可以得出下列几点結論：

1) 在晶核形成速度固定不变的条件下，則当晶核生長速度較小时，便获得高分散度的乳剂，即微粒乳剂。反之，在相同条件下，当晶核生長速度大时，便获得低分散度的乳剂，即大顆粒乳剂。

2) 在晶核生長速度固定不变的条件下，則当晶核形成的速度小时，便获得低分散度乳剂。反之，在相同条件下，当晶核形成的速度高时，便获得高分散度乳剂。

鹵化銀晶体形成和生長的速度，受很多因素的影响。根据 С. П. 舒瓦洛夫多次实验研究，指出分散度与它的影响因素之間的关系可以下式表示：

$$q = \frac{W}{V} = K \frac{(Q-L)^m \cdot \eta \cdot \delta}{L^{m'} + L \cdot D} \quad (5-2)$$

式中 K ——比例常数；

Q ——在结晶生成前过饱和溶液中鹵化銀的濃度；

L ——鹵化銀晶核的溶解度；

η ——粘度系数；

δ ——结晶时能被鹵化銀离子克服的晶体表面層的厚度；

m, m' ——常数 (均为正值)；

D ——扩散速度。

从公式(5-2)可以看出，乳化时，影响鹵化銀晶体分散程度的，主要是鹵化銀的溶解度。当溶解度 L 增大时，分散度数值 q 变小，这样便得到分散度小的粗粒乳剂。反之，溶解度小时，便得到分散度大的微粒乳剂。而乳化时鹵化銀溶解度的大小，随着下列因素而改变。

1) 乳剂中溴鹽的濃度，乳剂中过剩的溴化鉀对鹵化銀的溶解度具有相当复杂的特性(如圖 5-3)。当过剩的溴化鉀濃度由很少增大至 0.05 克分子量 (相当 6 克/升) 时，鹵化銀的溶解度逐漸降低；当濃度为 0.1 到 0.5 克分子量时，溶解度达最小，此后如再

繼續增大溴化鉀的濃度，溶解度又開始增大，這是由於溴化銀與溴化鉀形成絡合物的緣故。前面已講過溶解度越小，則分散度愈大，從而獲得反差系數較高的微粒乳劑，但由於顆粒較小，感光度就不高。

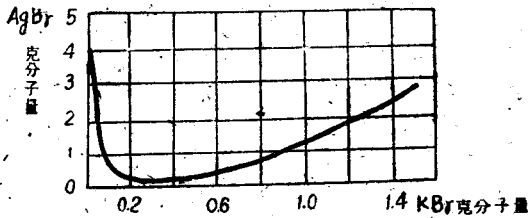


圖 5-3. 不同過剩的溴化鉀數量對鹵化銀溶解度的曲線(根據 K. C. 李雅李可夫的数据)

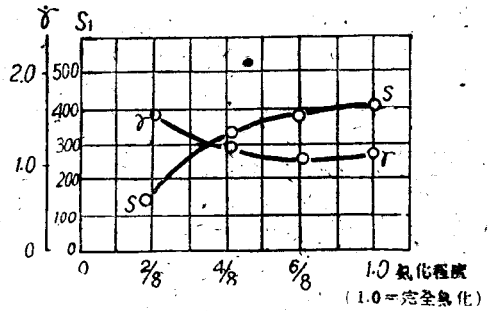


圖 5-4. 氨化程度對乳劑攝影性能的影響

2) 氨的影響。氨對溴化銀具有強烈的膠溶作用。在乳劑中加入氨時，能夠使溴化銀的溶解度大大增加，結果形成粗大的溴化銀顆粒，因而可制得高感光度乳劑。圖 5-4 表示氨化程度對乳劑攝影性能的影響。用氨法製造的乳劑除顆粒粗大以外，而且其大小比較均等。因此這樣乳劑不僅感光度較高，而且反差系數也較大。

3) 溫度的影響。根據公式 (5-2)，當溫度升高時，會使其中好些個因素改變，如溶解度 L 增大，擴散系數 D 增大，粘度系數 η 減小，使晶體表面的吸附層的厚度 δ 減薄。所有這些因素的改變都是使分子減小，而分母增大，因而分散度 q 大大降低了，故溫度升高，必將導致乳劑的粗粒現象。

4) 明膠濃度的影響。當其他因素不變時，減小乳化時明膠的濃度，會使粘度系數 η 減小，擴散系數 D 增大，因而分散度減小，便形成粗大鹵化銀顆粒。明膠濃度較高，則保護作用加強，形成的顆粒就可較小。一般負片乳劑，乳化時明膠濃度較低約為 1—5%。圖(5-5)為明膠濃度對乳劑顆粒大小的影響。

除了以上所述幾點以外，乳化的方法和攪拌速度對乳劑性能亦有很大影響。乳化的

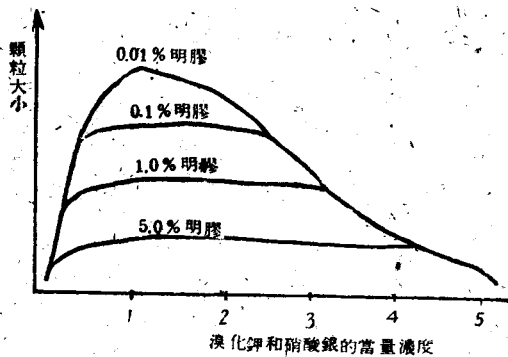


圖 5-5. 明膠濃度對乳劑顆粒大小的影響

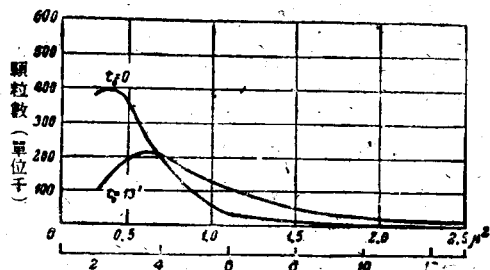


圖 5-6. 不同乳化時間的乳劑顆粒大小的分布曲線

方法有下列几种:

1. 瞬間乳化, 即將硝酸銀溶液很快地倒入含有溴鹽的明膠溶液, 这样可得到鹵化銀顆粒細而反差大的乳劑 (如圖 5-6 所示)。

2. 間断乳化, 即將銀液分成 2—3 次快速傾注的方法。如果間隔的时间不大于 3—5 分鐘, 則可得足够反差, 而感光度較瞬間乳化高的乳劑。

3. 緩慢乳化, 即將銀液以一次或分成几次長時間的連續傾注方法。这样可得到感光度高而反差小的乳劑 (如圖 5-6 所示)。

如欲制高反差的綫划复照乳劑, 則应采用瞬間乳化, 半色調乳劑宜采用間断乳化。

乳化时, 急速攪拌可阻止顆粒的局部凝結。使顆粒大小分布均匀, 这是由于攪拌破坏了明膠阻止結晶作用的緣故。

(三) 第一成熟过程

乳化过程以后, 紧接着的两个重要阶段, 便是第一成熟过程和第二成熟过程。所謂成熟过程就是将乳劑在高溫 (40—70°C) 下保持一定時間, 使其內部發生变化, 以取得所要求攝影特性的乳劑的控制过程。

第一成熟过程与乳化过程密切銜接, 它的任务主要是使鹵化銀顆粒的繼續形成和成長。圖(5-7)即表示第一次成熟中顆粒的变化过程。它包括所謂奧斯特瓦德成熟 I_a 、無生長均衡 I_b 、聚結 II 等阶段和再結晶阶段 III。

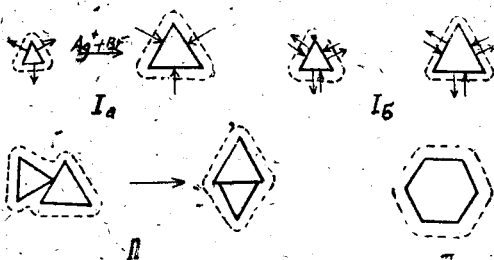


圖 5-7. 第一次成熟过程圖解

在乳化过程中所产生的鹵化銀結晶体, 其大小是不同的。根据質量的比例而言, 小顆粒比大顆粒的相对面积大些, 因而其溶解度較大。由于小顆粒被溶解得多, 結果造成大顆粒逐漸壯大, 这样的顆粒变化阶段就是所謂奧斯特瓦德成熟。另外由于顆粒在乳劑中是不断运动的; 大顆粒与小顆粒

碰撞过程中会吸引着小顆粒, 因而产生聚結。聚結的顆粒經過一定時間后, 其間的界綫会逐渐消失, 而成为一个統一的結晶体, 这种作用就叫做再結晶。由于顆粒表面大小不断的变化, 同时个别顆粒表面不断增大, 总合的面积就逐渐减小。这种顆粒变化的基本作用是物理性的, 因此又称为物理成熟。

在第一次成熟过程中, 溫度和延續時間起着非常重大的作用, 而且强烈地影响乳劑的質量。当第一次成熟的溫度提高或者成熟時間延長时, 感光度会增大, 但反差縮小。相反的, 当第一次成熟的溫度降低或成熟時間縮短时, 反差会增大, 但感光度减小。

加氨法乳劑中, 氨的存在对第一成熟过程也起了很大作用, 最主要的是它能改变乳劑中鹵化銀的溶解度, 促进奧斯特瓦德成熟, 加大成熟速度。故一般采用加氨法时第一成熟的时间或溫度較中性法小。

溴鹽剩余量在乳化过程中, 是起改变鹵化銀溶解度的作用; 到第一成熟过程时, 它

仍然能繼續起这种作用。因此它能調節顆粒結晶成長的过程。另外，有多余的溴鹽存在还能阻止朦霧的形成。

少量碘鹽加在溴化銀乳劑中能使感光度提高。据研究証明，这是由于碘化銀在乳劑中，并不是以单独化合物的晶体存在，而是与溴化銀結成混合晶体存在的緣故。因为碘化銀的晶格距离大，混合晶体的晶格就随之而增大，这样的晶体較不牢固，易为光能破裂而分离出銀粒。

(四)冷凝和水洗

溶化在乳化和第一成熟过程中的过剩的鹽类——硝酸鉀，溴化鉀及其他物質，如讓它繼續保持下去，就可能在感光層的表面結晶或引起朦霧。因此在第二成熟过程以前，应当用水水洗，以除去这些过剩的物質。

要完成这一工作，首先就必须使乳劑冷凝。为了要很快的进行冷凝，可將乳劑注入外壳很薄的專門冷凝器中去凝冻；如果没有此器皿，則可以用第一次成熟的乳劑桶放入冰水內凝冻。冷凝时，必須將乳劑攪拌，直至乳劑变至很濃为止。

为了使乳劑內溶解的鹽类充分洗清，必須使乳劑与水接触面加大，因此須將乳劑切成蠅杆狀細条。水洗是在低溫下进行，水溫一般应在 $10-12^{\circ}\text{C}$ 之間。如水溫太高，明膠就会膨脹很大，而且可能將部分的鹵化銀冲洗掉，相反的，要是水溫过低，則扩散又太慢，水洗時間拉得太長。

(五)第二成熟过程

第二成熟过程是乳劑制备的最后一个过程，在这过程中，乳劑內已不含鹵化銀的溶媒，因此乳劑顆粒的大小以及大小的分配都不再改变。第二成熟过程的主要作用是化学性的吸附过程，而且这种作用完全發生在鹵化銀顆粒的表面上，故又称为化学成熟过程。化学成熟的結果能使乳劑的感光度提高很多倍。

第二成熟过程中起主要作用的物質是明膠，因明膠是增大感光度的最重要的因素。由实验証明，当明膠与溴化銀結晶格子中的銀离子以及溶液中的若干銀离子作用后，就会产生明膠与銀的絡合物。这些絡合物極大部分是在溴化銀晶体的表面上分解，因此所形成的金屬銀和硫化銀都吸附在乳劑顆粒的表面上，这些新生的金屬銀粒就叫做感光中心，它可以决定乳劑顆粒的感光度。

上述的新生銀粒不仅是乳劑第二成熟过程中产生，并且在第一成熟过程中也有产生，因为在第一成熟过程中也有其产生的条件（如明膠存在和溫度升高）。但在第一成熟过程中，微小的乳劑顆粒正在进行溶解而产生較大的乳劑顆粒。因此在溶解的顆粒上所形成的新生銀粒，在第一成熟过程中会从溴化銀分离出来，而在成長的顆粒上所形成的新生銀粒又逐渐为鹵化銀所掩盖，經過若干時間后，新生的銀粒就不在晶体的表面上，而到它的內部去了。而乳劑顆粒表面新生銀粒，即第二成熟过程中形成的新生銀粒作用最大。

在乳劑第二成熟过程结束后，降低溫度使乳劑凝冻（如直接去塗布就不一定冷凝），至塗布以前，再將乳劑加热溶解，并加入某些附加物，如加稳定剂——溴化鉀以防

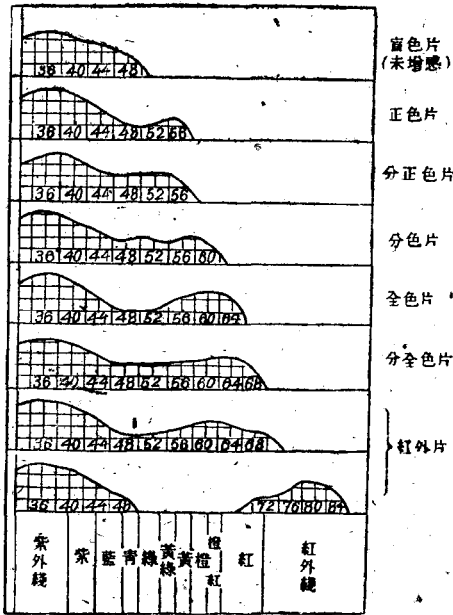


圖 5-8. 在半瓦特电灯照明所得到的不同增感剂的光譜圖片

止矇翳，延長保存期限；堅膜剂——銘矾以加強明膠的附着力；防腐剂——酒精以消除乳剂的泡沫性，防腐剂——石碳酸以及表面作用剂——甘油。此外尚有一种特别重要的附加物即所謂光学增感剂。

当乳剂塗布到片基上以后，应放在干空气的状态下晾干。晾干后制造乳剂層的过程就結束了。虽然硬片，軟片或像紙的乳剂，其組成彼此不同，但其制造的方法原則上还是相同的。

光学增感剂应在塗布以前加入乳剂。負性乳剂，通常是要增感的，而对于正性的乳剂，除特殊情况外，不进行光学增感。由于光学增感的特性是負性感光材料分类的主要特征之一，故現將几种主要的感光材料的光譜特性說明如下：

(1) 未增感感光材料，其所具有的感光度，相当于鹵化銀对 500 毫微米以下範圍内的天然感光度。

(2) 正色和分正色的感光材料，正色感光材料的增感範圍可达 580 毫微米，但在 500—525 毫微米部分，增感作用降低，分正色摄影材料的增感範圍可达 600 毫微米，而在 500—525 毫微米部分，增感作用降低不大。兩者光譜的感光度扩至光譜的綠色和黄色部分。

(3) 分色感光材料是在正色与全色之間，其增感範圍可达 640 毫微米，因而对光譜橙色和橙紅色的光綫感光。

(4) 全色的感光材料对于 680—700 毫微米以下可見光譜中所有的光綫皆能感光，但綠綫部分 (500—550 毫微米)，感光度要稍許降低。

(5) 紅外的感光材料能对光譜紅外光部分感光。但是天然感光帶与增感帶之間有很大一部分感光性降低。紅外片的乳剂，根据在光譜紅外光部分的感光特性可分成几类。每一类都决定于增感最高的位置，如：紅外片 710、750、800、860 (即其增感作用最高处分别为波長 710 毫微米，750 毫微米等等)。圖 5-8 即为經過上述各种增感作用后感光材料的光譜圖片。

§ 5.2 攝 影 硬 片

摄影硬片是最老的一种感光材料，但是直到目前，还是采用着，虽然摄影軟片 (比較方便，并可隨身攜帶) 已被广泛使用。当摄影影像需要十分精确的表达出摄影物体的大小和形状并且要長久保存时，特別需要摄影硬片。因此，某些复照工作和地面摄影測

量，均采用摄影硬片。

制造摄影硬片的主要步骤如下：

1. **准备玻璃。**玻璃必须要能符合一定技术要求。首先将玻璃用水洗净，然后利用专门机器将中间层，即很薄的一层铬明胶（小于0.0001毫米）涂上。

2. **制造感光乳剂。**如上节所述。

3. **将乳剂涂布于玻璃上。**这项工作系利用传送式的专门机器来完成，该机器上，在进行涂布的部分，应保持着室内温度。而在另一部分，则需要用冷水使其冷却。涂布在玻璃上的乳剂，在机器的冷却部分变成凝胶，然后送入干燥器。

4. **利用纯洁热空气进行干燥。**

5. **分类和包装。**

硬片的种类很多，可以将其分成两大类：普通负性的类型和特殊的类型。

A. **普通负性类型的硬片：**其对于光谱的感光性彼此不同，可以分为：

(1)未增感片（要专门订购）；

(2)分正色片；

(3)分色片；

(4)全色片。

这几种硬片的感光度和反差系数 γ 可能皆不相同。硬片的特性如表5-1所载。

苏联摄影硬片的分类和感光测定的特性

表 5-1

硬片的用途及其反差的程度	感光度		反差系数		显影到推荐 γ 的 t (分)	曝光宽容度 L	最大黑度的最小值 D_{max}	最大许可雾黑度			附 註
	程度	单位 (ГОСТ)	范围	推荐的				分正色	分色	全色	
1. 一般摄影用的											
软性的	低的	11—16	0.9—1.5	1.0	4—6	1.5	—	0.10	0.12	0.18	
中等的	低的	11—16	1.2—1.6	1.3	4—6	1.2	—	0.10	0.12	0.18	
硬的	低的	11—16	1.7—2.0	1.5	4—6	0.9	—	0.10	0.12	0.18	
同上	低的	22—32	每一种感光程度的硬片其反差可能是软的，中等的和硬的。反差的程度和推荐的 γ 与低感光度的一样				—	0.10	0.12	0.18	
同上	中等的	45—65					—	0.10	0.15	0.18	
同上	高的	90—130					—	0.15	0.18	0.22	
同上	最高的	180—250	—	—	—	—	0.20	0.24	0.30		
2. 复制用的											
(a) 半色调											相应于显影四分钟 D_0 和 D_{max} 值
中等的	—	2.8	1.2—1.6	1.2	4—6	—	2.5	0.12	—		
硬的	—	2.8	1.7—2.0	1.5	4—6	—	2.8	0.12	—		
(b) 线划的											
特别硬的	—	1.4	2.4—3.0	2.0	4—6	—	3.0	0.10	—		
超硬性的	—	1.0	3.6 以上	3.0	4—8	—	3.0	0.12	—		
3. 透明正片的											
硬的	—	0.5—1.0	1.7—2.0	1.5	4	—	2.8	0.08	透明正片没有增感		
特别硬的	—	0.18—0.35	2.4—3.0	2.0	4	—	>3.0	0.08			
超硬性的	—	0.18—0.35	3.6 以上	3.0	4	—	>3.0	0.08			

B. 特殊类型的硬片具有专门的用途，下列硬片皆属于此类。

(1) 复照的硬片：根据 γ 的大小，可将其分为线划的和半色调的二种。前者系制线划原图之负片用。反差系数 γ 很高，可达 3.6 以上（指显影四分钟），但其感光度很低，一般线划硬片均为正色片。半色调硬片系供半色调原图复照用， γ 较小（2.0 以下），感光度较线划硬片稍高。

(2) 正性硬片：正像的复制以及复照皆可采用此硬片，其摄影特性接近于线划硬片，但无光学增感作用。这种硬片的感光度是很低的。

(3) 摄影经纬仪的硬片：就是感光度不大的正色硬片。制造这种硬片，应采用质量很高的研磨过的玻璃，但所磨面对玻璃水平面的倾斜不应超过 0.2° 。

由于在摄影经纬仪硬片上的影像是供应量测各点间之距离用的，需要构像很清晰，因此这类硬片必须涂上一层反光量层。

§ 5.3 摄影软片

制造摄影软片的过程如下：

1. 制造赛璐珞的软片片基。
2. 把中间层涂到赛璐珞片基上。该工作要在专门的机器上进行。
3. 制造乳剂。
4. 涂布乳剂。亦是利用专门的涂布机进行。
5. 使软片晾干。
6. 软片的整理和包装。

现代的摄影软片，其构造是相当复杂的。其所以这样构造，目的是为获得很大宽容度的反光量软片，以便完成各种摄影工作。

软片的种类比硬片的种类还要多，根据用途，大概的可分为：普通摄影软片，航摄软片，复照软片和 X 光软片等。

普通摄影软片。其感光测定性能可能与负性的电影软片一样，因为普通摄影软片常常是由乳剂卷按像幅所切成的。在专门涂布摄影软片时， γ 值近似于硬片的规定值。在制造上，以全色片为主，但为了业余摄影，也制造有正色片和分色片。兹将普通用的软片的特性列如下表：

苏联摄影软片的感光测定特性

表 5-2

普通软片	感光度 (以FOCT为單位)	分解力 R	显影 12 分钟时的朦胧黑度 D_0			
			正色	分色	全分色	全色
低的	11—16	90	0.10	0.10	0.12	0.15
小的	22—32	80	0.10	0.10	0.12	0.15
中等的	45—65	70	0.12	0.12	0.15	0.18
高的	90—120	60	0.15	0.18	0.18	0.22
最高的	180—250	50	0.18	0.20	0.28	0.30

根据反差系数之值，可将所有软片分为下列几种。

表 5-3

软片的特性	γ 的变化范围	推荐的 γ	推荐的显影时间(分)	曝光宽容度 L
软性	0.7—0.88	0.65	6—10	2.1—1.8
中性	0.9—1.15	1.00	6—12	1.8—1.5
硬性	1.2—1.8	1.30	6—12	1.5—1.1

分幅的摄影软片是分张制造的，其每张的大小与硬片相同。成卷摄影软片成带形，其宽度为6厘米，长度为72厘米。这种带形胶卷需固定在很长的纸条上，并将其与纸条一起卷到轴上。在纸条的反面写有号码，表示摄影镜头的次序。宽度为35毫米的小像幅摄影软片（长为1.6米）是供小像幅镜箱所使用的。

航摄软片成带形，宽度为19、25、32厘米（有时更宽些）其长度为9~60米。在整个胶卷上不应该有粘合的地方。根据订制者的需要，在软片的边缘上可能穿有小孔。在航摄软片的末端，固定有纸条或者黑而不透明的赛璐珞片，以防止软片在光亮房间内装片时漏光。当软片卷到卷轴（其大小要合乎规定）上以后，再用涂腊的不起光化作用的纸把它包起来，并装到盖有盖子的铁筒里去。在盖子和筒的衔接处，贴上胶布，使软片和外面的空气隔绝。

苏联通常出售的仅是全色软片（全色第十型），但也可专门的订购到红外片（各种类型），另全色片以及其它类型等。

全色软片是在光谱可见部分进行航摄的最适用的一种材料，并且，由于其增感作用最有效，因此滤光片的倍数，即加滤光片所需增加曝光时间的倍数不大。

从航摄软片的名称中，就可以看出该航摄软片的感光度，例如“ТИП10-400”就说明了 $S_d(0.85)$ 软片的感光度为400，并且能保持一年。为了使标籤上所注明的感光度能保持到规定的期限，所以，在其出厂时的感光度数，应该比规定的要大25—30%。近来除了上述的类型以外，还制造有“ТИП10-600”“ТИП10-800”、“ТИП10-1000”等类型的航摄软片。

复制软片 另名为摄影技术软片，印刷厂、地图出版社以及航测队复照工作作业室皆使用之。

X光软片 是供利用X光线摄影时使用的。

电影软片 可分为负性的，特别的（专门供录音用的电影软片和逆转电影软片等）以及多层彩色的软片。

电影软片有两种宽度，一种是16mm窄胶卷，另一种是35mm正常宽度的胶卷。这种胶卷长度达300米以上。并在边上穿有一定间隔的小方孔。

兹将主要的电影软片的性能列举如下：

表 5-4

軟片的記号和 名稱	在 $\gamma=0.65$ 时的 $S(\Gamma OCT)$	$\gamma=0.65$ 的适 用显影時間	γ 值	朦翳 D_0 (显影 12分鐘)	附 註
M3-1—中性	22—32	6—10	0.7—0.88	0.10	軟片 B-11 和 B-11 表示最高的感光度。 該感光度是在显影 到最大黑度 D_{max} 不小于 2.5 时得到 的
M3-2—硬性	22—32	4—8	0.9—1.15	0.10	
A-1—中性	45—65	6—10	0.7—0.88	0.12	
A-1—硬性	45—65	4—8	0.9—1.15	0.12	
B-1—中性	90—130	6—10	0.7—0.88	0.15	
B-1—硬性	90—130	4—8	0.9—1.15	0.15	
B-11	90—130	10—14	0.7—0.75	0.15	
B-11—中性	180—250	6—10	0.7—0.88	0.20	
B-1—中性	180—250	6—10	0.7—0.88	0.20	
B-1—硬性	180—250	4—8	0.9—1.15	0.20	
B-11—硬性	180—250	10—14	0.7—0.75	0.20	
正性的	0.36—1.0	1—2.5	2.1—2.7	0.06	

§ 5.4 象 紙

負片是攝影过程中的一种中間产品，只有在某些攝影測量工作中才直接使用它。像紙上的正像通常是最后的产品。由于正像必須符合于攝影測量中所提出的各种用途，因此必須要有多种像紙，以便滿足使用者的各种需要。

塗布乳剂应使用特别的紙。对于这种紙，不論在純潔（不含金屬雜質和硫化物等）以及物理性質方面，都需要提出很高的要求。

乳剂不能直接的塗布到紙基上，而需要預先塗一層中間層——硫酸鋇層。所以塗布这一層的原因是，硫酸鋇層能保證乳剂和底紙結合得更堅固，能增加白色，能掩盖紙漿中可能影响乳剂各种磷物，能預防乳剂滲透到片基中去。硫酸鋇層是悬浮在明膠內的硫酸鋇所組成，并且由于硫酸鋇紙是經專門的机器（压片机）所滾平的，所以該層很結实。

像紙的乳剂層与負片材料的感光層略有不同，像紙的乳剂感光慢，显出的銀粒也較小，因此具有特別大的堆积能力。

有时，乳剂層上面塗有明膠保護層，以便使像紙有光澤和預防摩擦朦翳的現象。

薄的紙可以不塗硫酸鋇層，但是中間的明膠層是必須要塗的，因为它能保證乳剂和片基很好的粘合起来。

某些特別的像紙的片基上，塗有光油層，因为这样可以提高像紙的堅固性，防止处理过程中像紙的过分湿潤，而减少变形的数值（这一切对于航攝負片的印象來說是很重要的）。

所有的像紙可以分为两种不同的类型：(a) 可見印像的像紙——晒出像紙，(b) 显影像紙。

第一类型的像紙，例如，氯化銀紙，如果曝光过久，那么所得影像很弱，沒有影

紋，这是由于氯化銀分解后，新产生了金屬銀和氯，而氯将会阻止鹵化銀繼續起光解作用，因此在氯化銀的可見印像紙的乳剂層中加有氯的吸收剂，將氯控制住。氯的吸收剂通常采用有机酸銀鹽或者硝酸銀。由于吸收剂的存在，光解作用可以进行到最后，因此在像紙上可获得很大的黑度。然后，將影像进行定影，并將所得的黄色影像放到氯化金中去处理，使其变成很好看的金黄色調影像。

显影像紙根据所使用的鹵化成分，可分成四种类型：

- (a) 溴化銀像紙；
- (b) 氯溴化銀像紙；
- (B) 氯化銀像紙；
- (r) 碘氯化銀像紙。

溴化銀像紙的感光度最高，所以其使用也最为普遍。

碘氯化銀像紙的特点，就是其感光度最小。这种像紙仅可供接触印像之用，并且在这一方面比溴化銀像紙还要优越，因为，第一由于其感光度很小，所以在很明亮的黄色照明时或者在暗室內离开光綫成某一距离的地方，皆可以显影；第二显出的銀粒特別細小，因此可使影象的色調很美观，改变显影时间和显影液的濃度，可以使影像具有各种色調。

氯溴化銀像紙的感光度比溴化銀像紙小，但比氯化銀像紙大。若改变显影条件，則可获得各种色調（由黑色或黑褐色至紅褐色）。

苏联像紙根据片基的顏色和結实的程度以及其表面的形狀，分成以下几类（見表5-5）。

表 5-5

表 面		結 实 程 度		顏 色	
号 数	名 称	号 数	名 称	号 数	名 称
0	特別光澤的	0	稀疏的	1	白色的
1	光澤的	1	一般的	2	染有淡顏色的
2	半光澤的	2	結实的	3	淡黄色的
3	無光澤的	—	—	—	—
4	毛面的	—	—	—	—
5	粒狀的	—	—	—	—
6	加光过的	—	—	—	—

根据上表所引用的号数，在封袋面上写有一个总的号数例如：211 就是說明該像紙是：半光澤的，一般的，白色的。

按照像紙的用途，可將其分为普通的、艺术的以及特別的三大类型。前兩类的攝影特性相同，不过艺术类型的所包括种类比較多，因为它包括各种表面，而普通类型通常仅仅是上面四种表面。

像紙的感光度，其意义是次要的。像紙的反差程度以号数来表示。根据反差的程度，鹵化銀的成分以及表面的形狀，也可將像紙进行分类（如表 5-6 所示）。

苏联像紙的分类和感光度測定的特性

表 5-6

印 像 紙 的 类 別	№ 反 差 度	曝 光 量 有 效 范 圍 L	反 差 系 数			最 大 黑 度 D_{max}		
			特 別 光 澤 的	光 澤 的	無 光 澤 的 和 半 光 澤 的	特 別 光 澤 的	光 澤 的	無 光 澤 的 和 半 光 澤 的
溴 化 銀 像 紙 (溴 紙)	1	1.6-1.8	1.4-1.5	1.1-1.2	1.0-1.1	1.6	1.4	1.0
	2	1.3-1.5	1.6-1.9	1.3-1.5	1.2-1.4	1.6	1.4	1.0
	3	1.1-1.2	2.0-2.4	1.6-1.9	1.5-1.7	1.6	1.4	1.0
	4	0.9-1.0	2.5-2.9	2.0-2.4	1.8-2.1	1.6	1.4	1.0
	5	0.7-0.8	3.0-3.9	2.5-2.9	2.2-2.6	1.6	1.4	1.0
	6	0.5-0.6	4.0-4.9	3.0-3.9	2.7-3.4	1.6	1.4	1.0
	7	0.4 以下	5.0 以上	4.0 以上	3.5 以上	1.6	1.4	1.0
氯 化 銀 像 紙 (氯 紙)	1	1.7-1.9	—	1.2-1.3	1.0-1.1	—	1.5	1.0
	2	1.4-1.6	—	1.4-1.6	1.2-0.3	—	1.5	1.0
	3	1.0-1.1	—	2.0-2.3	1.7-2.0	—	1.5	—
銀 化 銀 像 紙 (銀 紙)	1	1.5-1.7	1.4-1.5	1.2-1.3	—	1.7	1.5	—
	2	1.3-1.4	1.6-1.9	1.4-1.6	—	1.7	1.5	—
	3	1.1-1.2	2.0-2.4	1.7-2.0	—	1.7	1.5	—
	4	0.9-1.0	2.5-3.0	2.1-2.5	—	1.7	1.5	—
	5	0.7-0.8	3.1-3.9	2.6-3.2	—	1.7	1.5	—
	6	0.5-0.6	4.4-4.9	3.3-4.1	—	1.7	1.5	—
	7	0.4 以下	5.0 以上	4.2 以上	—	1.7	1.5	—
碘 化 銀 像 紙	1	1.6-1.8	—	1.0-1.2	1.0-1.2	—	1.4	1.1
	2	1.4-1.5	—	1.3-1.4	1.3-1.4	—	1.4	1.1
	3	1.1-1.3	—	1.5-1.8	1.5-1.8	—	1.4	1.1

像紙感光度变动的范围很大:

- 0.05-0.2..... 氯化銀像紙变动的范围;
- 0.4..... 氯化銀像紙变动的范围;
- 2-10..... 溴化銀像紙变动的范围。

除了普通类型的像紙之外, 还制造有大量的供專門用的像紙。如复照像紙, 描繪像紙和記錄像紙等。

下表为我国公元摄影化学厂出品的像紙之性能。

表 5-7

像 紙 类 別	反 差 号 数	曝 光 量 有 效 范 圍 L	适 合 之 底 片	
放 大 紙	1	1:32	强	硬
	2	1:16	普	通
	3	1:10	平	淡
印 像 紙	0	需 特 別 訂 購	—	—
	1	1:30	强	硬
	2	1:16	普	通
	3	1:8	平	淡
	4	需 特 別 訂 購	—	—

§ 5.5 感光材料的保存条件

塗布在各种片基上的乳剂層不是稳定的。因为成熟过程在干燥的乳剂層中仍繼續进行，只是进行的速度比較緩慢。高温度和湿度可加快成熟的速度。在保存的过程中，所有感光測定的特性都会發生改变。又在保存过程中，感光材料的攝影性質的改变叫做感光材料时效。时效最显著的表现是开始增長朦翳，同时可以發現感光度和反差系数均减小。一般認為高感光度的感光材料，在保存过程中的稳定性最差，而感光度低的感光材料其稳定性較好。但这种規律不是永远能十分正确保持的，有时也会發現正片乳剂在不良条件下保存不久时，就起朦翳作用。近来，在乳剂中差不多經常加入某些物質——稳定剂来提高感光材料的保存作用。但是若在不良条件下保存（即高温度显著的变更，空气中的温度很高，或其中含有引起朦翳的气体等），那么，即使是經過很好稳定作用的感光材料，也可能会迅速的失时效。因此对感光材料的保存条件必須提出以下几点要求：

1. 温度的变动不应超出 12—20°C 度范围；
2. 感光材料不应受到直射太陽光綫和加热仪器的影响而發热，因此櫃子的位置离开加热的仪器不能近于 1 米。而且窗子要遮起来；
3. 湿度只能在 50—70% 范围中变动；
4. 在貯藏室里不能流入有害的气体；如硫化氫、一氧化碳、阿摩尼亞以及芳香物体的蒸气，架子不应该用新的松木来做，在房間里不应放酸类和容易蒸發的液体（煤油，汽油等）；
5. 櫃子应安置在离地不低于半米处；
6. 裝有硬片的匣子應該側放，以便使匣子上面的干板不压在下面的硬片上；
7. 象紙不应成堆的积压在重物的下面；
8. 所有的感光材料应很好的包藏起来保存。

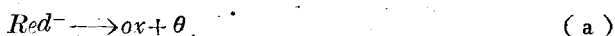
第六章 負片过程与正片过程

§ 6.1 显影的一般原理

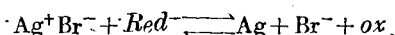
在第三章里已經叙述过，感光材料只要有感光中心存在，那么經光化作用之后就会形成潜像，由于銀的集团（潜像）万分微小，超出了任何光学显微镜的限度之外，人眼完全看不见。为了要使潜像变为入眼所能见到的影像，就必须經過显影这一过程，这也是負片过程的主要内容。

显影作用也是与光化学反应相类似的一种还原作用，不过显影剂离解后便产生了带負电的显影离子，从这种离子失去的电子与銀离子中和而使它还还原为銀原子，同时这时显影剂变为氧化物而不再起还原作用。

若以 Red^- 表示显影剂，离子 ox 表示显影剂的氧化物，則显影的还原作用可用下列圖解表示：



綜合 a, b 二式后：



从上式可知，經化学反应以后的 $Ag^+ Br^-$ 与显影剂（还原剂） Red^- 作用之后，形成金屬銀与显影剂的氧化物，而 Br^- 則仍旧不变。

若將溴化銀受光后的还原作用与显影作用相比較，則显影所起的还原作用要比受光所起的还原作用大几十亿倍。

每一个顆粒只要有一个显影中心（潜像），那么它就会起显影作用。假若用显微镜

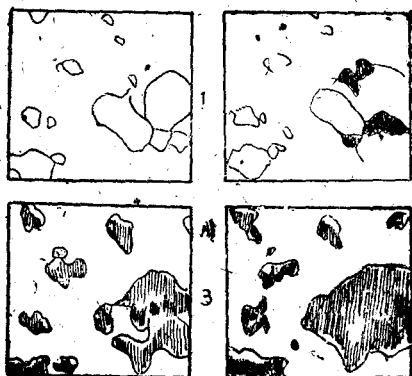


圖 6-1. 晶体在各个显影阶段的形状

1—显影前的顆粒； 3—显影六分鐘以后；
2—显影三分鐘以后； 4—显影九分鐘以后

来观察显影的过程，就不难看出鹵化銀的还原是从具有催化作用的显影中心开始，然后繼續向四周扩展。实际上每一顆粒中的显影中心通常是很少的。显影中心愈多的顆粒其还原的速度就愈快。此外，在显影的过程中，銀原子是不断的增加的，这好像增加了新的显影中心，因此显影的速度是愈来愈快；新的銀原子是堆积在原有的显影中心上，故显影后的顆粒形状与显影前的顆粒形状除了个别外，差不多都不相同了（如圖 6-1 中所示）。

但为什么只具有显影中心的顆粒方能起还原作用？而没有显影中心的顆粒却不能？这个问题

曾經有很多不同的學說，現在我們選擇其中解釋比較自然的一種概念敘述如下：

該理論認為溴化銀的還原不是在溶液里，而是直接在結晶體的表面上進行的。將乳劑顆粒的表面上顯影中心看成是催化劑的微粒，且這些微粒能以其本身特有的作用增加溴化銀的還原速度；並以此來說明乳劑層感光部分的顯影比較迅速的原因。關於上述的這種作用的具体過程，雖然曾經出現了很多不同的設想，但是，這個問題還不能算是已經徹底地解決了。

現在將為什麼只有顯影中心的顆粒方能起還原作用的道理略述如下：

在乳劑製造中已知，第二成熟過程結束以後要加入補充劑，其中有穩定劑——溴化鉀。帶負電的溴離子能被吸附在乳劑顆粒的表面，使乳劑顆粒的表面帶負電荷。在顯影液中具有顯影能力的顯影劑離子也帶負電荷，由於靜電的同性相斥作用，顯影劑的負離子就不能接近顆粒的表面，因此在這樣的顆粒中便不能起顯影作用。與此相反，凡是具有顯影中心的顆粒，該處就失去負電荷，而屬於中性原子，因此，顯影劑的負離子就會靠近具有顯影中心的顆粒，電子便會跑到結晶格子中去使銀離子還原為銀原子（如圖 6-2），顯影作用便不斷的並且加速度的在結晶格子中進行，以至整個顆粒最後被還原為金屬銀。

圖 6-3 是表示乳劑層橫斷面及其在顯影時的順序變化情況。圖內的白圈表示鹵化銀的結晶體，黑點表示受光化作用而巳構成潛像的鹵化銀結晶體，塗黑的圓圈則表示巳顯影的結晶體。圖中并假定作用在部分 I 的曝光量最大，部分 II 次之，部分 III 上所受的輻射最弱，而部分 IV 上則完全未受到光的作用，在該部分上帶有黑點的圓圈，是表示具有朦朧中心的結晶體。

由圖 6-3 可知，在受光最多的部分 I 上，大部分的結晶體都有顯影中心。在部分 II 和 III 上的下面各層內幾乎沒有顯影中心。在部分 IV 上的少數結晶體中的顯影中心不是由光化的作用而產生的，而是在感光材料製造及保存的過程中形成的朦朧中心。圖 6-3a 表示顯影的開始階段，圖 6-3b 和 6-3c 表示顯影的以後二個階段。開始顯影時限於那些具有最活躍顯影中心的結晶體，如果顯影時間足夠的話，則具有顯影中心的所有結晶體，就都能完全還原。假如經過一段時間後，就停止顯影並量測感光材料上影像的最大黑度 $D_{最大}$ 和最小黑度 $D_{最小}$ 後，所得到的黑度差 ΔD 和反差係數 γ 為最大時，則這一顯影的時間就稱為最長的顯影時間，這時若繼續進行顯影，則受光的顆粒的黑度不再增大，而未受過光的顆粒由於朦朧中心的存在繼續進行顯影，結果增大了朦朧黑度，使 ΔD 和 γ 都變小了。

各種顯影劑顯出的朦朧的速度是不相同的，不同顯影劑的顯影速度也不同。如以 v_f 表示該顯影液朦朧顯出的速度， v_s 表示該顯影液影像顯出的速度，則顯影液的選擇性能 V 可用下式表示：

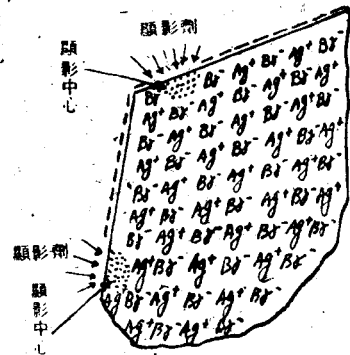


圖 6-2: AgBr 的還原過程

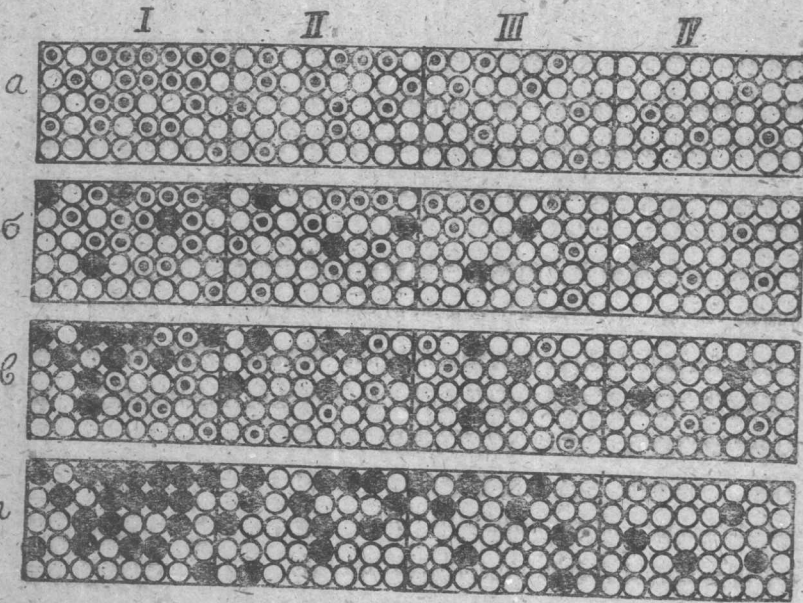


圖 6-3. 乳劑層的显影略圖
 a—感光層; b—显影的第一阶段; a和z—显影的以后两个阶段

$$V = \frac{v_i}{v_f}$$

从实用上来看, V 值愈大, 則該显影液愈好。在实用上为了便于比較各种显影液的选择性能, 苏联塞拜尔斯托夫建議選擇性不采用速度之比, 而采用达到習慣上所采用的影像黑度 ($D_i=1.5$) 的时间 $t_{D_i=1.5}$ 与一定朦翳 ($D_0=0.3$) 的时间 $t_{D_0=0.3}$ 之比。显影液选择性能可用下式表示:

$$V = \frac{t_{D_0=0.3}}{t_{D_i=1.5}} \cdot K$$

式中 K 值在習慣上常用 100。

上述的显影方法称为化学显影法, 它是依靠乳劑層內鹵化銀中所含的銀来構成影像的。我們通常所采用的显影方法就是属于这一种。

此外, 还有一种显影法, 即所謂物理显影法, 它与化学显影法不同的地方, 在于它依靠加在显影液內的硝酸銀中的銀構成影像, 其特点是感光層即使在定影以后 (即在感光層上除去溴化銀以后) 还可以显影, 因为在定影以后的透明負片上, 含有由銀所構成的潛像部分。

物理显影法的實質, 就是在含有显影剂和銀鹽的显影液內 (即物理显影液內) 产生銀鹽的还原作用, 而形成金屬銀, 然后这些金屬銀由显影液里慢慢的沉淀到潛像部分上, 結果構成可見的銀粒影像。該作用进行得很慢, 因此物理显影法在一般攝影工作中很少采用。

§ 6.2 显影液的成分以及各种成分的作用

大部分的显影液是由以下四种成分组成的：显影剂（还原剂）、保存剂、促进剂、抑制剂（反朦剂）。现分述如下：

（一）显影剂

显影剂是一种卤化银的银离子还原成金属银的还原剂。上面我们已经说过，显影过程是一种还原过程，因此显影剂在显影液中的地位是首要的。为此，必须对显影剂提出以下几点要求：

1. 显影剂必须是还原剂，其还原能力要适中，且具有一定的选择性能，即主要是对已曝光的卤化银起还原作用，而对未曝光的卤化银应该作用很少，否则只会得到整个表面均匀的变黑而没有将影像表达出来。

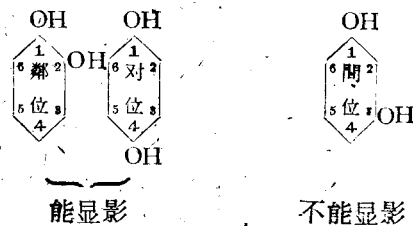
2. 能溶解于水或含有亚硫酸钠或碱的水溶液中，因为在显影液中是有这些成分存在的。

3. 其氧化生成物应无剧毒，或对感光层有其他不良影响（如产生气泡等）。

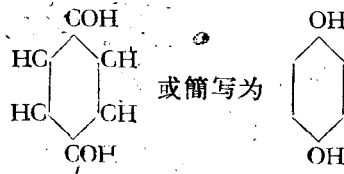
目前的显影剂除了克洛丁湿片过程中尚使用无机显影剂外（如硫酸亚铁），差不多都是采用有机显影剂。有机显影剂是苯，萘的诱导物。实际上常用的是苯的诱导物。

要使苯的诱导物具有显影能力，则至少要具有两个活动基团，即羟基（OH）和氨基（NH₂）。同时要求这种活动基团必须在邻位或对位上，间位的诱导物是没有显影能力的。

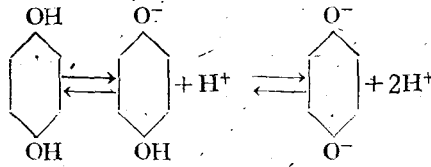
现将几种主要的显影剂说明如下：



几奴尼或称海多吉农，学名为对苯二酚，其分子式为 C₆H₄(OH)₂ (1,4)，分子量为 110.05，结构式为：



几奴尼在水溶液中，特别是在鹼的水溶液中，会局部的按下式离解：



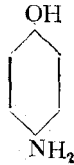
几奴尼的外部形状是一种无色的或淡灰色针状结晶体，易溶解于水，酒精和乙醚中。

几奴尼对溴化钾的增加特别敏感，对温度的感觉也甚灵敏，在 13°C 以下时，显影能力剧减；5°C 以下时，则无显影能力；温度高于 27°C 时，则会产生雾翳。当与碳酸碱合用时，则显影作用慢而反差大；但当与苛性碱合用时，则显影作用很快而且能使反差更高。因此綫划负片、幻灯片以及曝光过度的负片最适用这种显影液显影。但一般负片和印像纸显影时，多将几奴尼和米吐尔混合使用。

贝洛卡德新学名为邻苯二酚，其分子式为 $C_6H_4(OH)_2$ (1.2)。

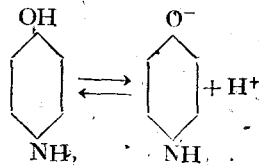
它是几奴尼的同分异构体。它的各种性质与几奴尼十分相近，只是对显影液内溴化钾的增加及温度升降的敏感性较差。

派拉米独酚，学名为对氨基苯酚，其分子式为 $C_6H_4(OH)(NH_2)$ (1.4)，分子量为 158，结构式为



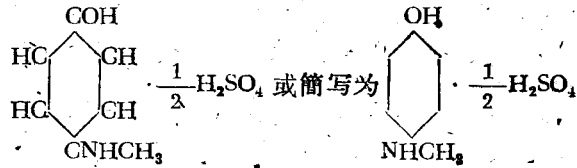
在实用上均以各种盐类应用，如硫酸对氨基苯酚 $[C_6H_4(OH)(NH_2)]_2 \cdot H_2SO_4$ 和盐酸对氨基苯酚 $[C_6H_4(OH)(NH_2)] \cdot HCl$ 。

对氨基苯酚在水溶液内会按下式进行离解：

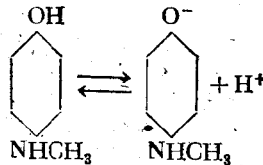


对氨基苯酚的外形是白色或灰色的细小结晶体，易溶于水，它与碳酸碱配合的显影作用慢，而与苛性碱配合的显影作用强。它对溴化钾与温度降低的敏感性都比几奴尼要差些。它是选择作用最好的显影剂之一。因此，当与碳酸碱配合使用时，通常不加溴化钾。

米吐尔或称衣命学名为对甲基氨基酚硫酸盐，其分子式为 $C_6H_4(OH)(NH)CH_3 \cdot \frac{1}{2} H_2SO_4$ (1.4)，其结构式为：



米吐尔在水溶液中按下式电离：



米吐尔的外形是针状的无色或淡灰色结晶体，容易溶解于水，但很难溶解于亚硫酸盐溶液中。当水内加入大量的亚硫酸盐后，则其溶解度就会大大的降低。

米吐尔的还原能力很强，对溴化钾的敏感性很差，故在使用时，必须加入份量较多的溴化钾，否则便会迅速还原而产生雾翳。

由于还原力强，故所得的影像反差小，而能充分显出细纹部分的影纹，故是一种很好的软性显影剂，单独使用时，最适宜于曝光不足的负片显影。另外微粒显影也适用。

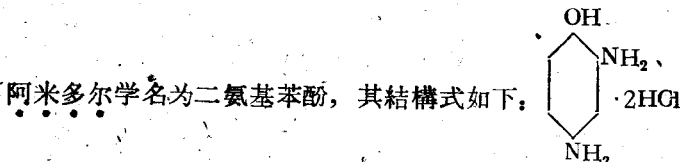
实用上一般是将米吐尔与几奴尼配合使用，只要变动米吐尔与几奴尼的相对用量和调整亚硫酸盐和碳酸碱的量，就几乎可以获得所要求的任何反差和显影速度。

格里新(学名对氨基苯酚)其分子式为 $\text{C}_6\text{H}_4\text{OHNHCH}_2\text{COOH}$ (1,4)。

我们可以将它看成是米吐尔的诱导物，因为把米吐尔内甲基的氢用羧基(COOH)代替后，就可得到该药剂。格里新显影液的特点是不容易产生雾翳，并且对空气中氧化作用具有很大的稳定性。

派拉敏学名为二氨基苯，其分子式为 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$ 。

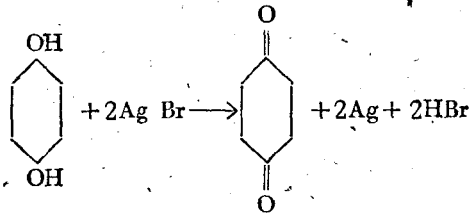
它是一种微粒显影剂，近来一般都把它与其他显影剂(主要是格里新)配合后供微粒显影之用。



它是一种无色或淡灰色(氧化所致)的针状结晶体，易溶解于水，几乎不溶于酒精和乙醚，在空气中极易氧化，故不易保存。但它是强有力的显影剂，无须加入硷性物而只要与一种亚硫酸盐配合，即可显影。这种显影剂甚至在弱酸中也能慢慢的显影。

上述几种显影剂中最常用的是米吐尔和几奴尼，而且一般都是联合使用，即配成米吐尔—几奴尼显影液，俗称 M.Q 显影液。

显影剂在显影液中的功能是使卤化银还原为金属银，其反应式可用对苯二酚为例，说明如下：

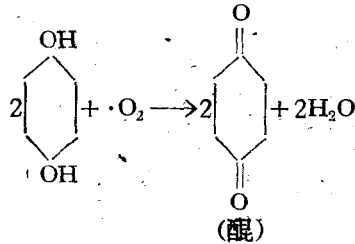


(二)保存剂

由于显影剂本身会吸取空气中的氧气，極易氧化变成褐色，而失去显影能力。因此，就必須在显影液内加入另一种能防止显影剂氧化的化学药剂，这种化学药剂称为保存剂。

亞硫酸鈉是一种最常用的保存剂。它分無水的(Na_2SO_3)和結晶($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)二种，二者分子量之比为 126:252，所以，一份無水的亞硫酸鈉，恰好等于兩份結晶的亞硫酸鈉。

現以几奴尼为例，來說明沒有加入亞硫酸鈉时的氧化情况：其变化可用下式表示：



由上式知，假如几奴尼不加亞硫酸鈉，則很快就氧化而生成褐色的醌。

亞硫酸鈉在显影液中的作用，可分述如下：

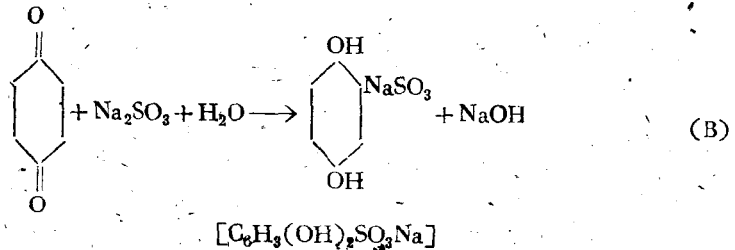
1. 能吸收显影液中之氧气而变为硫酸鈉即：



由于优先夺取氧而阻止了显影剂的氧化，显影液不易变色，因而影像不致在显影过程中發生其他不利的污点。

2. 能与显影剂的氧化物起作用而生成單磺酸鹽，恢复了显影能力。

由于显影剂一方面不断的被受光过的銀鹽所氧化而成为已氧化的显影剂，另一方面虽然已加入亞硫酸鈉，但是由于显影液是与空气直接接触，显影剂还有被氧化的可能，尤其接触面大則更甚。上述二种原因会降低显影能力，但加入的亞硫酸鈉会与这种氧化了的显影剂起作用而成为單磺酸鹽。現將已氧化的几奴尼作为例子來說明这一点：

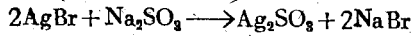


显影液中的單磺酸鹽具有还原能力，且使影像产生矇翳的可能性比几奴尼还要小，并且显影液的鹼性稍为增大(从(B)式右边可看出)，故有时为了使影像不致产生矇翳起见，往往將药液配制后隔天再使用。

3. 亞硫酸鈉具有微弱的坚膜作用。

从(4)式知，亞硫酸鈉吸收氧气后而生成硫酸鈉，而硫酸鈉具有收縮性和具有一定程度的坚固药膜的能力，故可防止因显影液太濃或溫度較高而产生药膜的过度軟化的危險。

4. 亞硫酸鈉有一种微弱的溶解鹵化銀的作用。如果在显影液內加入多量的亞硫酸鈉，則它能溶解各部分的鹵化銀顆粒使之变小，因而还原的金属銀粒也就随之而变小。



(三)促进剂

由于所用的显影剂，差不多都是呈現中性或酸性的，假如單独用它来进行显影，則很少甚至不可能將受光的鹵化銀顆粒中的銀离子还原为金属銀，因为溶液呈中性或弱鹼反应，还原剂是不会活躍的，故各种显影液中除了阿米多尔显影液可以不加鹼性物質外，差不多其他显影液都須要加入一种鹼性物質以促进显影剂的还原作用，故称此鹼性物質为促进剂。

目前显影液中所常用的鹼性物質，有下面几种：

1. 硼酸鹽：硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)

2. 碳酸鹽：碳酸鈉(由于含水成分不同而有：結晶碳酸鈉($\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，一水碳酸鈉($\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)及無水碳酸鈉(NaCO_3)之分，三者用量之比为2.69:1.17:1)和碳酸鉀(K_2CO_3)。

3. 磷酸鹽：磷酸鈉(Na_3PO_4)

4. 苛性碱：苛性鈉(NaOH)和苛性鉀(KOH)

显影作用的速度是随着显影液內氫氧离子濃度增大而加快的，加入鹼性物質就是要达到此目的。加入鹼性物質份量的多少，是根据其pH值来衡量的，最适宜的用量使溶液的pH值为9—11。这时溶液呈鹼性反应的，因为，

当 $\text{pH} < 7.0$ 时呈酸性反应；

当 $\text{pH} = 7.0$ 时呈中性反应；

当 $\text{pH} > 7.0$ 时呈鹼性反应。

因此，我們就可以根据pH的大小来檢查溶液是呈酸性或鹼性反应。

不同的显影剂，在相同pH值的溶液中其电离的程度均不同，現举三种显影剂來說明。見表-6-1所示。

上述三种显影剂离解以后，皆能产生对显影最有利的負离子。在任何情况下，若pH值增大，則离解作用就会强烈增加，結果显影的速度加快。因此，在显影液內加鹼，就能使显影剂变成活动的状态。由此可知，影响显影性質的不是鹼的性質，而是pH值的大小，所以含有鹼的数量不同的显影液，要是它的pH值相等的話，則其作用还是相

等的。但是，应该注意，利用苛性碱时既可得到很小的 pH 值，也可得到很大的 pH 值。利用碳酸碱则不能得到大于 11 的 pH，利用硼酸碱不能得到大于 9.5 的 pH。所以称苛性碱为强碱，在需要作用很强的显影液时才应用。碳酸碱称为中等碱，其应用最广。硼酸碱称为弱碱。

表 6-1

电离程度 \ pH	9	10	11
几奴尼	9.9%	59.2%	98.2%
米吐尔	3.1%	27 %	70 %
沛拉米独酚	4.2%	33 %	84 %

在含有苛性碱的显影液内，由于所有离子都差不多同时离解，因此随着显影作用中氢氧离子的消耗，pH 值从显影一开始就逐渐减小，而改变了显影液的特性。但在含有其他两种碱的显影液内，由于开始时只有部分显影离子被离解，其余部分要随着溶液内氢氧离子的逐渐冲失而转变离解状态。所以这种显影液能较长期的保持其原来的性质，能起缓冲作用。显影液的良好缓冲作用对保持显影液性质的经常性是能起着很大的作用，这一点在实际上有着很大意义。

(四) 抑制剂

所谓抑制剂，就是在显影液内加入一种物质，使显影能力降低。显影液内加入抑制剂的作用有：

1. 防止雾翳

显影剂对于卤化银的作用，不单对已曝光颗粒起还原作用，就是对于未曝光的颗粒也会起还原作用（不过不大），因此，加入抑制剂可以防止显影剂对未曝光的卤化银的还原作用。也就是防止影像产生雾翳。

2. 增大影像反差

由于降低显影剂的还原能力，因此，对于感光弱的地方，其还原能力就更慢，故增大了影像的反差，这对于曝光过度的底片来说更是适合。

一般均以溴化钾做为抑制剂。

在显影液内增加溴化钾，会引起特性曲线的移动（如图 6-4）。由图 6-4 中知，当显影液内没有溴化钾时，各种显影时间的公共惰性点是位于横坐标轴上，但当加入少量的溴化钾后，其直线部分的会合点（惰性点）亦会移动到横坐标轴下面来。

各种显影剂对增加溴化钾的反应是不同的，其

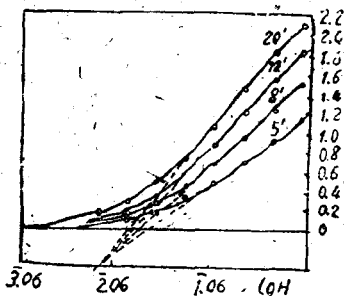


图 6-4: 惰性点因受溴化钾影响而后移动的情况

中以几奴尼对它的感觉最为灵敏。今假设在几奴尼显影液中，影像的黑度的降低刚能由人眼觉察到所需之最小量的溴化钾为“1”，则各种显影剂对溴化钾的灵敏度可用下面的数字来表示：

几奴尼	1.0
格里新	1.6
派拉米独酚	6.0
焦性没食子酸	16.0
米吐尔	20.0
阿米多尔(未加鹼)	30.0
阿米多尔(加鹼)	40.0

以上数字说明几奴尼对溴化钾的抵抗力最小，而阿米多尔最大。在加入溴化钾时，还应考虑到，显影液温度增高时，其选择能力会减小，所以此时应加入比较大量的溴化钾。另一方面，在显影过程中，会不断的分离出 Br^- 离子，这些离子积累起来，就会大大的阻碍显影作用，因此，如果不采取有效措施，就会使显影液很快的衰退。

§ 6.3 显影液的一般特性

上面已将显影液的四种成分讨论过，随着各种成分比例的不同，显影液的性质也不同。只有彻底的了解各种显影液的各个主要特性之后，方能很好的用于实际工作中。任何显影液都有如下的几个主要特性：

1. 显影速度

显影速度是指能达到一定反差系数 γ 时，所需的显影时间。假如在温度相同的条件下这个时间愈短，则显影速度愈快；反之，则愈慢。在急性（速度快的）显影液内，一般的显影时间是3—6分钟，而慢性显影液则延长至12—20分钟（如微粒显影）；显影时间的变化范围是很大的。最快的显影速度是：含有苛性鹼的米吐尔-几奴尼显影液，和含有苛性鹼的几奴尼以及“贝洛卡得新”等显影液。

单从经济观点上来看，显影速度是极其重要的，但是由于慢性显影液有其方便之处，它不会像急性显影液那样，在显影时间上稍有差错而造成了很大的缺点。因此在很多情况下，还要选择慢性显影液。另外要取得层次丰富的微粒负片（即反差小的微粒负片），亦必须用慢性显影液（如调和显影液、微粒显影液等）。

2. 最大反差系数

最大反差系数是对一定感光材料在某一种显影液内可能得到的反差系数之最大值 $\gamma_{\text{最大}}$ ，此 $\gamma_{\text{最大}}$ 称为该显影液的最大反差系数。

最大的反差系数是随着显影液成分的不同而变的。根据苏联学者仔细研究的结果证明，速度小的慢性显影液需要比较长的显影时间才能达到或者接近于急性显影液的最大反差系数。因此，术语“硬性显影液”应当理解为：能以较短的显影时间达到很大的反差系数。而在软性显影液中，要达到同样反差系数，就需要相当长的显影时间。

3. 初显時間

初显時間是指將已經曝光的硬片或軟片浸入显影溶液时开始一直到最初显出影像的时间間隔。急性显影液比慢性显影液的初显時間短。一般正常曝光的感光片，在普通显影液內的初显時間为 30—40 秒（在正常的溫度下）。

初显時間的实际意义很大，因为初显時間的長短直接关系到完全显出影像的时间。例如，假定在普通显影液中显影，其初显時間比正常情况的 30—40 秒長，則說明底片曝光不足現象，应酌量增長显像時間。

4. 显影曝斃

显影曝斃是指某种显影液显到一定反差系数后所得到的曝斃。它与显影剂的特性以及显影液內溴化鹽或其他反曝斃剂的多少有关。

5. 显影液对感光度、分解力、寬容度的影响

显影液成分的改变会影响感光材料的感光度，曝光过度和曝光不足的特殊显影液就是根据这个原理配制的，此种特殊显影液对于提高或降低感光度的作用很大。一般中性显影液对感光度的影响不大，但在实际工作中亦应考虑。

关于选择增大底片分解力的显影問題，虽然曾作了大量的研究，但还没有得到完善的結論，关于这个問題，还待以后努力。

曝光寬容度随着显影液成分的不同而有微小的变化，此变化是复杂的，目前尚無結論。

6. 显出影像的顆粒大小

显出影像的顆粒大小，主要是取决于显影液的配方和成分，而其中亞硫酸鈉的加入量有着很大的关系。單从显影剂来看，要得到顆粒小的影像，应该取用能力弱而且能局部溶解溴化銀的显影剂。急性显影液是不能得到小顆粒的影像的。

7. 保存性和消耗性

普通显影液內已含有足够的亞硫酸鹽，因此只要把它滿裝在玻璃瓶內并紧塞瓶塞，可以保存很長的时间。如果讓它長期放在盆內，則会被空气中的氧所氧化，使显影液迅速失效。

显影液的消耗性是各不相同的。含有弱鹼的慢性显影液使用时间特別短，即消耗迅速。它在显影过程中对溴鹽的累积非常敏感。为了比較显影液的消耗性，可以指出，1 升慢性微粒显影，只能显影 35 毫米軟片 5—6 米，而 1 升快速显影液却可显影 30 米甚至更多一些。

§ 6.4 主要几种显影液

随着攝影事業的不斷發展，人們在实际工作中根据經驗而配成的成千上万种的显影药方中，虽然其效果能够适合各种專門用途的攝影处理，但是，到現在为止，还没有發現一种万能的药方能适合于所有实际攝影的需要。根据实验証明：在鹼的濃度一定的条

件下，若增大显影剂的浓度，在最初是会一定程度上引起显影速度的增大，但后来显影速度又会随着pH值的减少而降低。假如继续保持溶液内的pH值不变，而不断的增加显影剂的浓度，则到了一定时期后，显影速度也不会再有提高的现象，同时，雾翳也随之而增加。因此，在显影液中鹼和显影剂的含量，应该有一个适当的比例。

下面我们根据实验得出的最合适的pH来讨论显影液各成分的份量。

1. 显影剂的份量

除一些特殊的显影液外，一般的显影液的pH值在10—11左右最合适，按照这一数值，显影液中显影剂的最有效的浓度为每1000毫升的溶液中含0.02—0.05克分子，以几奴尼为例，则其相应的含量约为3—6克，这便是一般显影液中使用显影剂的含量的基础。

2. 保存剂的份量

作为保存剂的亚硫酸鹽，其浓度与显影剂的浓度有关，假如显影剂的浓度为每1000毫升的溶液中含0.05克分子，则亚硫酸钠应为0.15—0.2克分子，约为无水亚硫酸钠19—25克的份量。

在特殊的情况下，例如，在微粒显影的要求下，亚硫酸钠（无水）的浓度可增加到每1000毫升的溶液中为100—125克；但是，应该指明，这种浓度已经成为极限值了，假如再增大的话，则显影就会产生显著的黄色雾翳。

3. 促进剂的份量

作为促进剂的鹼，由于其种类的不同，在溶液内产生最大pH值的需要浓度也不相同，例如，硼砂的pH最大值为9—9.5，大约每1000毫升溶液中有12克就可以达到这种pH的最大值；碳酸钠的pH最大值为11，大约每1000毫升的溶液中有25—30克就可以达到这种目的；苛性鹼的最大pH值可达13以上，这需要在特殊情况下才应用，如快速显影液就是按此pH值来配成的。

4. 抑制剂的份量

作为抑制剂的溴化钾，其份量的大小，主要是取决于所采用的显影剂对它的敏感性如何、感光材料的雾翳程度、曝光时间的正常与否以及对影像反差的要求。例如，对溴化钾敏感性特别高的几奴尼显影剂，则应最少，对于雾翳大的感光材料则溴化钾应多加，曝光过度和要求反差大的显影液，则溴化钾也应多加一些。由此可知，溴化钾的份量应视具体情况而定。

对于一般的显影剂的配合可以按照上面所说的原则，不过，应该说，这也不是一种万能的药方而只不过是一个基本原则。人们由实际经验的积累中所配制成的许多药方往往与上面所述的基本原则还是有出入的。

现在，根据上面所说的原则，将普通的显影液中各成分的有效数量列举如下：

显影剂.....	0.05克分子
碳酸钠（无水）.....	25—30克
（或碳酸钾）.....	25—30克

亞硫酸鈉（無水）	20—25克
溴化鉀	不定量
水	加到1000毫升

契皮索夫显影液的成分是完全符合以上的各种要求，一般的显影液，如“中性显影液”和“普通显影液”也与以上药方甚接近。按此基本原则配成的显影液虽然广泛的用于实际工作中，但在很多情况下，仍然需要采用特别成分的显影液，例如，当需要快速显影时，就需要采用几奴尼（15—20克/升）与苛性鹼（15—40克/升）以及含有較多的溴化鉀（10—15克/升）配成濃度很大的显影液；有时需要用軟性的显影液略微降低負片的反差；为了使負片放大后得到清晰的影像必須用微粒显影液，使显出影像的顆粒細小等等。

諸如这些特殊的要求因而出现了特殊的配方。在空中攝影处理时常用的軟性显影液是調和显影液，这种显影液有这种特性：慢而有力；景物中陰暗部分的影紋能显出，光亮部分的影紋在負片上又不很黑。長時間的显影其反差系数亦較小。

微粒显影液与調和显影液兩者配方特点近似。

它們有以下几个特点：

1. 呈弱碱反应，所以能保証显影的緩慢性；
2. 含有銀的溶媒；
3. 其中某些含有活动力小的显影剂；
4. 所有作用緩慢的显影液对溴化鉀的感觉都是十分灵敏，因此，这两种显影液內可以完全不加溴化鉀或者仅加入少量的溴化鉀。

这两种药液在实际配方中，随着人們的經驗和要求上的不同。药方的种类有很多，現將二种药液的配方各举一例列于下面：

調和显影液配方：

米吐尔	2克
几奴尼	5克
亞硫酸鈉（無水）	50克
硼砂	20克
水	加至1000毫升

微粒显影液配方：

米吐尔	5克
亞硫酸鈉（無水）	75克
硼砂	12克
硼酸	4克
水	加至1000毫升

在这二种配方中，由于配方成分不同，各成分的含量不同，各种药品的特性在显影液內錯綜复杂的相互影响后使得显出影像的效果不一致，最明显的是用微粒显影液显出的顆粒要小得多，其主要原因是微粒显影液內亞硫酸鈉的含量較多。微粒显影液有降低感光

度的缺陷，因此在实际工作中，如果不需要微粒一般不采用。

§ 6.5 一般显影技术和显影液的损耗

主要的显影方法有二种：

1. 定时显影法。
2. 目视检查显影法。

第一种显影方法（定时显影法）是在一定温度下根据人们以往积累的經驗硬性确定的。

当增感的感光材料对可见光谱部分具有很高感光度，而没有使用减感剂时，显影必须在完全黑暗中进行，或者因为显影技术本身或者是使用仪器的关系，不能在显影过程中看到显影发展情况下；这时定时显影法是唯一可行的工作方法。

定时显影法必须要求溶液的性質和温度是固定的，当大量显影时，这个要求特别重要。很明显，当使用定时显影时，最好没有曝光不准确的情况。

第二种显影方法（目视检查显影法），是用眼睛观察影像的显出情况而确定显影的时间。使用这种方法显出影像的质量，完全决定于冲洗者的經驗，因此只有当經驗很丰富的冲洗員使用这种方法才完全可靠。用这种方法显影，在最初阶段最好是在完全黑暗中进行。如底片曝光正确，则在显影若干秒鐘后（在普通显影液内一般为30—40秒），受光较强的部分就现出影跡，此后每隔1—2分鐘在安全灯下检查一次。检查时注意不能离安全灯过近或过久。当影像显至适当黑度时，就停止显影。这种方法的优点是可以根据初显时期来发现曝光时间有無錯誤，并能如願的調节显影色調。这方法的缺点是由溶液中取出底片进行观察会使底片产生一些霧翳，显出影像又决定冲洗者的經驗。

攝影硬片和散頁軟片可以在盆中或專門的显影槽中进行。在采用显影槽的情况下，硬片和軟片是垂直安置的，因此称为垂直显影。

盆中显影是均匀性較好的一种显影方法。但是应当注意，当底片浸入显影液后，应不断地將显影盆搖动，使显影均匀。根据研究結果指出，受光相同的底片显影，由于显影的不均匀而产生的黑度差会降低到25%（圖6-5）。如果在显影时使用橡皮均匀的在乳剂表面滑动，可使黑度差的降低减少至4%。当显影时间很長时，这种因显影不均匀而引起的黑度差亦会减少。因为在黑度較大的地方，全部受光的溴化銀已經还原，显影作用停止；但此时在显影較少的地方，还原作用还在繼續进行，所以黑度差减小。在垂直显影的情况下，为了促进反应生成物向周圍漫射出去，使显影結果均匀，应当使負片在显影液中不断运动。如果負片放在显影液内不动，那末由于反应生成物比較重，会沿着負片下沉，使高黑度的下面部分出現光帶（圖6-6）。光帶的形成原因是由于高黑度处失效的充滿溴化鹽的显影液降落到下面部分去，使該部分的显影緩慢；使高黑度下面突然出現低黑度。

卷軸軟片当然也可在盆中用上下拉动的办法显影，但是小型攝影机（如Зоркий）用

的軟片比較長，不可能再用手上下拉動來進行顯影。這時需要利用專門的沖洗罐。沖洗罐分插槽的和波紋的兩種。使用均很方便，裝片以後，整個顯影過程可以在普通光線下進行。



圖 6-5. 盆中顯影的負片的等黑度曲線。

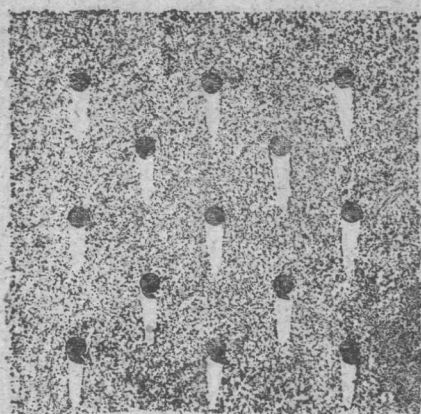


圖 6-6. 負片濃黑部分下面的光帶現象

顯影液的損耗 隨着顯影液的損耗，使軟片的顯影速度逐漸降低，其原因是由於顯影液的成分起了變化。顯影液成分改變的情況如下：

a) 顯影劑的濃度逐漸減少。其原因是由於鹵化銀還原要消耗顯影劑；顯影劑本身會被溶解於顯影液內以及與液體表面相接觸的空氣中的氧所氧化；溶液內有亞硫酸鹽或其它各種鹵化銀的更强的溶媒（用於調和顯影液和微粒顯影液中），則對已溶解在該溶液中的鹵化銀的還原也會消耗若干數量的顯影劑。

b) 亞硫酸鹽的濃度逐漸減少。因為顯影劑變成亞硫酸鹽的誘導物時要消耗亞硫酸鹽，而且其本身氧化成硫酸鹽，也要消耗。

b) 參加顯影作用的鹼，其濃度逐漸減少，因而使溶液的 pH 降低。

r) 溴化鹽（溴化鈉或溴化鉀）的含量增大。

顯影液的作用力衰退具體表現在顯影速度降低、感光材料的實際感光度降低、顯出來的負片的層次和色調較差。對於像紙來說黑度不大、層次不豐富是很嚴重的缺點。要想使黑度的結果良好、合乎標準，就應該用新配的顯影液。

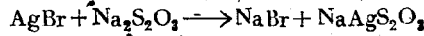
從節約國家物資出發，衰退的顯影液不應棄去，而可以根據衰退的程度加入補充液，這樣可使已衰退的顯影液重新恢復原來程度，以便繼續使用。

§ 6.6 定影的意義和化學原理

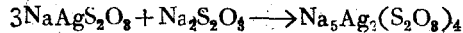
從顯影理論中知道，感光材料經過攝影感光、顯影後，乳劑層上的鹵化銀並沒有完全還原為金屬銀，假如緊隨着顯影以後不把这些殘余的鹵化銀去掉，則乳劑層再度受光後，會使未受光的鹵化銀變色以致影像消失。因此為了使影像能保持長久，應該把所有的未受光的鹵化銀一律溶解掉，以使影像穩定的保留下來，這就是定影的目的。

乳劑層上的溴化銀，可以利用定影液變成可溶解的硫代硫酸銀鈉的絡鹽。通常，定影劑是採用硫代硫酸鈉（俗名大蘇打）。只有在特別情況下，才應用其他藥劑，如硫代硫酸銨、硫氰酸銨、氰化鉀。

当硫代硫酸钠作用于乳剂层的溴化银上时，就会得到几种具有不同成分的络盐。首先所形成的络盐是 NaAgS_2O_3 ，其中银包括在络离子 (AgS_2O_3) 内。这时的反应式如下：



该盐 $(\text{NaAgS}_2\text{O}_3)$ 不易溶解于水，因此几乎不可能将其从乳剂层上洗去。假如，此时定影液内硫代硫酸盐的含量感到不足，则由于络盐的溶解度很小，因而不可能定影。只有硫代硫酸盐含量较多，促使络盐生成成分更为复杂的络盐后才容易溶解于水。反应方程式为：



氯化银最容易溶解于硫代硫酸钠中，溴化银次之，碘化银则最慢。

定影的时间

定影的时间决定于定影液和感光材料。定影液成分的含量以及温度不同则定影时间不同。不同类型的感光材料在一定的定影液中，定影的时间也是不同的；负片的定影总比正片长一些。就是在同一类型的感光材料范围内，由于乳剂层的厚度、乳剂层上单位面积的溴化银的数量以及溴化银颗粒的大小的不同，定影时间亦有差别。

定影的时间是值得我们注意的，现进一步详述：

1. 乳剂层的性质

乳剂层如果很薄，定影的时间就短。如果乳剂层上的卤化银是微粒的，则由于卤化银高度的分散，使卤化银与溶液的接触面增大，定影速度加快，能缩短定影的时间（见图6-7）。所以微粒感光材料定影时间较短，正片乳剂薄而颗粒又小，故定影速度比负片乳剂的定影时间短些（可从图6-8看出）。此外，氯化银的溶解速度比溴化银快，不含碘化银的乳剂比含碘化银的要快。

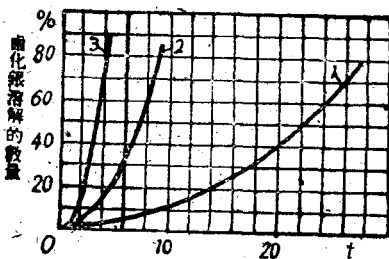


图 6-7. 卤化银晶体的大小对定影速度的影响

- 1—表示乳剂颗粒的平均直径为 3μ
- 2—表示乳剂颗粒的平均直径为 1.2μ
- 3—表示乳剂颗粒的平均直径为 0.7μ

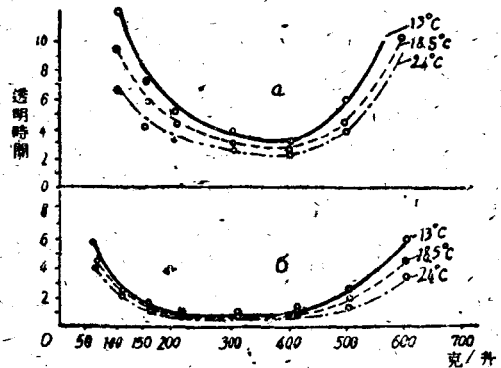


图 6-8. 负片与正片的定影速度

- a—负片用的软片
b—正片用的软片

2. 硫代硫酸盐的浓度

我们知道，起溶解卤化银的溶媒是硫代硫酸盐，当硫代硫酸盐的浓度增大到一定程度时，会大大的加快定影的速度。根据实验知道，硫代硫酸钠的最大浓度为 30—40%（如图6-8）。但通常都是应用 25—30% 的溶液，因为当提高浓度到 40% 时，则会形成药

膜脫落的危險。

3. 藥液的溫度

定影液的标准溫度，應該是18—20°C，藥液的溫度高了，会使負片松軟膨脹，降低定影速度，增長了定影的時間。

4. 加在定影液內各鹽類与定影速度的关系

在定影液內，假如加入某些鹽類（如氯化銨）以后，会显著的加快定影速度，因为氯化銨在定影液內能部分的变为硫代硫酸銨，而硫代硫酸銨是会加快溶解速度的（快速定影液中有时就是以它来代替硫代硫酸銨），一般在30%的硫代硫酸銨的溶液內，氯化銨的濃度为每升50克。此外也可加入8%的硫氰酸銨以增高定影速度。但由于它会使乳剂層过度軟化，除了需要特別迅速的情况外，一般也很少采用。有时也可將40—50%的硫氰酸銨加入定影液內，这样也可提高速度数倍。

除了上面所說的能影响定影速度的四种因素外，对于定影液的消耗（下面將詳細講到）和定影液的攪动是有很大关系的。在定影时，如不断的攪动定影液，則可減少定影時間15—20%，因此要求在开始定影时應該攪动定影液。

由于定影的時間是决定于上面的許多因素，因此，定影的時間不能作硬性的規定。根据实验的結果，一般認為負片的定影時間，約为乳剂層定影到透明时所需時間再增加一倍。

定影不够完全时，影像很快就会变色，但定影時間太長，則影像將会被溶去一定量的銀粒，而使影像黑度减小。

§ 6.7 定影液的种类和成分的作用

目前用于实际工作中的定影液有：普通定影液、酸性定影液和坚膜定影液。在这三种定影液中有共同的藥品（成分），也有特殊的藥品（成分），現在先按各种藥品的功用分述，然后再看各种定影液的作用。

（一）定影液的各种成分的功用

溶解剂

由于未感光或者已感光而没有还原的鹵化銀不容易溶解于水中，因此，必須在水中加入一种能溶解它的藥剂，我們称它为溶解剂。

一般采用的溶解剂为硫代硫酸銨（大苏打或叫海波）和氰化鉀等，最常用的还是硫代硫酸銨。在普通的定影液內，硫代硫酸銨的濃度为25—30%。

停止繼續显影剂

由硫代硫酸銨配成的定影液是呈鹼性的，底片从显影液內拿出之后虽經過水洗，但是，对于感光層內部的显影液还不可能停止繼續作用，因此，在开始放入定影液时，負片还没結束显影阶段。为此，必須使其很快的停止显影。

一般在显影結束之后，把負片放在酸性的溶液內浸洗使其酸鹼（因显影液是呈鹼性）

中和而停止显影，然后再放入有溶剂的溶液内。但目前采用很广的酸性定影液，则把酸直接加入定影液内。用来停止显影作用的酸，可以为醋酸、硫酸、硼酸或酸性亚硫酸钠。

保护剂

由于定影液内加酸或者加矾之后，往往会使硫代硫酸钠分离出硫，为此，必须在定影液内加入一种能克服上述缺点的药剂，这叫做保存剂。

一般保护剂是采用亚硫酸钠。

坚膜剂

坚膜剂在夏天高温时采用，因为经过显影后的感光材料（尤其是负片）其药膜已被显影液内的碱质软化了，若再在间隔水洗、定影和最后水洗的一连串过程中，仍然是在高温溶液中进行，这样就很容易使感光材料的药膜产生各种缺点（如药膜起皱痕、擦痕、脱膜或甚至被溶解等）。因此在较高的温度下（尤其在热带夏季的时间），应该采用一种药剂提高药膜的熔点以防止上述的缺点，这种药剂称为坚膜剂。

为了要达到上述目的，有时可以专门配制一种坚膜药液，在显影完毕而尚未定影之前就进行坚膜，而后再进行定影。但有时也可以直接将坚膜药剂加入定影液内。

一般采用的坚膜剂为明矾、铬矾或福尔马林。但应当指出，某些有机酸（如柠檬酸、草酸、酒石酸、乳酸等）与明矾混合在一起，会降低坚膜作用；而醋酸与铬矾混合在一起，也会降低坚膜作用。至于这些矾类为什么会起坚膜的作用，至今还没有研究清楚。

上面提出四种成分，对于酸性定影液都包含有，不过，应该指出，在很多的情况下，往往是將停止剂和坚膜剂单独进行的，尤其是坚膜剂更是很多地方作单独进行或者有时根本不用它。例如高温的时间在一年中并不是很長的，因此坚膜剂并不常用。又如为了使操作程序简单化，一般也不单独使用停止剂。因此在定影液中，溶剂是主要的，而其他的药剂可说是附加的，有时在个别情况下，定影液可以单独采用硫代硫酸钠溶解于水中配成。

(二)定影液的种类

根据用途的不同，定影液一般可分为下面几种：

1. 普通定影液（药方见附录）

所谓普通定影液，就是单用硫代硫酸钠溶解于水中配成的。根据实验，若用40%浓度的硫代硫酸钠的水溶液作为定影液，其定影速度最快，但因浓度太大，往往会使药膜起泡或脱落，故一般仅采用25%—30%的硫代硫酸钠的水溶液，作为定影液。

这种药液一般很少单独采用，因为它既不起停止作用，又不能起坚膜作用。

2. 酸性定影液（药方见附录）

酸性定影液，除没有坚膜剂外，其余成分均有，这种药液除了在高温情况下不用外，差不多一般都采用此种药液。

3. 酸性坚膜定影液（药方见附录）

酸性坚膜定影液是一种包含上列所有成分的定影液。它适合于高温的情况下使用。

4. 高溫定影液 (藥方見附录)

高溫定影液所含的坚膜剂为福尔馬林, 采用这种坚膜剂多在溫度高于35°C时使用。由于福尔馬林价高, 故除特殊情况下, 不多采用。

5. 快速定影液 (藥方見附录)

快速定影液是以硫代硫酸铵来代替硫代硫酸钠, 其溶解速度很快, 但因价高, 一般在硫代硫酸钠内加入氯化铵, 这样也可以产生硫代硫酸铵来。

快速定影液对于航测作業來說, 是有着很大的实际意义的, 因为, 有时为了很快地得到像片, 故采用此种药液。在提高生产效率方面來說也是很有价值的。

(三)定影液的消耗和提銀

1. 定影液的消耗

由于定影液的各成分在定影的过程中会不断的改变, 因而也不断的降低了定影的能力。定影液能力大小的衡量, 是依一定容积的定影液, 能够定影好多少面积的負片或正片为根据的。这种衡量的正确性是取决于溶液的成分和間隔水洗的好坏。

定影液的消耗原因, 綜合起来, 有如下几方面:

- A. 由于感光材料从定影液内帶走硫代硫酸钠, 因而降低定影剂濃度。
- B. 硫代硫酸钠的濃度由于溶解了氯化銀而逐漸降低。
- C. 可溶性氯化鹽的增加。
- D. 亞硫酸鹽濃度的减小。
- E. 銀粒的增加。
- F. pH 值因酸的中和作用而增大。
- G. 坚膜剂濃度的降低。
- H. 在定影液内增加显影液。

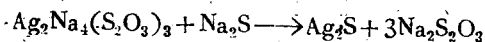
2. 在失效定影液内提銀

假如軟片定影到透明所需的時間比一般的大一倍时, 則定影液就算失效了。

失效的定影液不應該棄去, 因为, 在一升失效的定影液中, 銀的含量可达10克以上。但由于使用这种失效定影液定影的感光材料很难水洗, 因此不應該讓定影液内銀的濃度达到这样程度, 一般定影液内銀的濃度以不超过0.5%为宜。失效定影液中的銀可用适当的方法將它提煉出来, 同时, 还可得到新的定影液。这对于增产节约有很大意义。

在失效定影液中提煉銀的方法, 目前有下面几种:

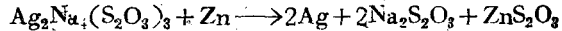
A. 將5—10%的硫化钠溶液加入失效定影液内, 使其产生硫化銀的沉淀, 其反应式如下:



Ag_2S 沉淀后可將 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 倒出過濾, 再加上其他缺少的成分, 而得到新鮮的定影液。至于 Ag_2S 如要变为銀的話, 則需再經過化学处理。

B. 在失效的定影液内, 加入适量的鋅, 則可得出銀的沉淀, 過濾后即為金屬銀, 其

反应式为：



上式最簡便可直接取出銀，但由于有副产物硫代硫酸鋅，对影像不利，故其溶液不再补充使用。

C. 將失效定影液倒在玻璃容器中，然后用一塊磨得比較光滑的黃銅片，放在溶液內，經過48小时以后，差不多在失效定影液中的銀都沉落在黃銅片上，提煉过程中注意在这一段時間中，要求將黃銅翻倒一次，并能經常攪拌藥液，这样可以促使速度加快。提出已沉落有銀的銅片以后，先用水冲洗干淨待干燥后，再小心把其表面上的銀粒刮下，以后銅片还可繼續使用，这一方法对于小規模實驗室很合适。

D. 將失效定影液和同容量的失效的米吐尔显影液一起倒入容器里，然后在混合液內加入30%的苛性鈉溶液（按每升失效定影液中加入100毫升計算），將溶液靜置經24—48小时后，銀即沉淀在容器底下。

E. 按每升5—6克的份量，在失效定影液內加酸性亞硫酸鈉和每升5—6克的碳酸鈉（若非酸性定影液，則可不加），經10—12小时后，失效的定影液几乎全部析出了金屬銀。这种銀粒不应在溶液中停留一天以上，因为硫代硫酸鈉能使其再溶解。

除上面的几种方法以外，也可以用电解的方法，即是在失效定影液內放入兩电极，經通电后，銀粒就聚集在陰極上，这样也可以得到銀粒。

§ 6.8 水 洗

(一) 水洗的目的

負片或正片在定影以后，必須經過一定時間的水洗。水洗的目的就是除去乳剂層上的銀鹽与硫代硫酸鈉的鉻鹽以及定影液的其他成分。因为，假如不把这些物質去掉，則在高溫度下，鉻鹽就会与銀粒起作用而形成棕色的硫化銀影像，这就叫做影像的变黃褪色。

根据实验知从定影液內取出一張18×18厘米的負片大約含有6毫升的定影液，其中硫代硫酸鈉約佔1.5克，此外还有其他物質。假如，要將这些物質完全从感光層上清洗出去，事实上是很困难的。假如乳剂層上硫代硫酸鈉的含量为每平方米0.16克时，則負片可保存五年以上。

(二) 水洗的方法

对水洗的要求是：快和洗得完全，此外并要求能以最少量的水去完成水洗任务。水洗可分靜水和流水二种方法，現分述如下：

(1) 靜水法

利用靜水进行水洗，在开始时，感光材料周圍的水所含化学物質的濃度为零，故硫代硫酸鈉和其他鹽类散布速度最快，以后由于水內所含化学物質的濃度不断增大，水洗速度就逐漸减小，以至完全停止。因此，为了避免这种情况發生，需要將感光材料从一

个槽轉放到另一个盛有清水的槽內，一般每隔五分鐘換水一次，經過五到六次的更換后，就可認為已經水洗完畢。

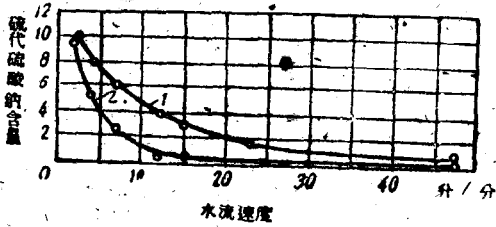


圖 6-9. 水流速度對水洗完善程度的影响
“1”表示含有明矾的定影液；“2”表示含有鉻矾的定影液

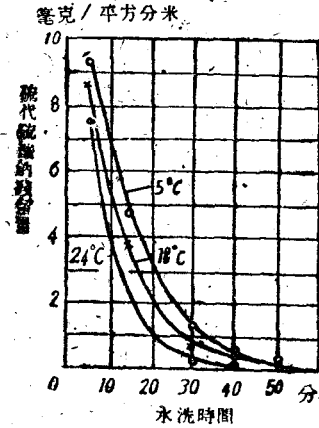


圖 6-11. 溫度對水洗時間的影响

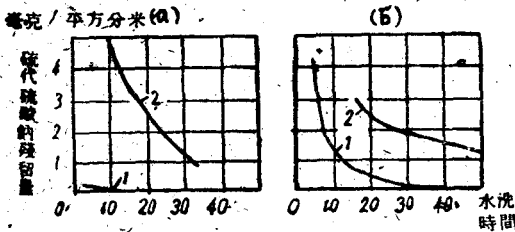


圖 6-10. 加鹽對底片或像紙水洗時間的影响
a—負片；b—像紙；1—海水；2—普通水

(2) 流水法

用流动的水来洗净底片或像紙，其速度要比靜水快得多。水流的速度要适中，因为太快了，水与乳剂層表面不是处处接触，这样会浪費很多水。从經濟观点上看，虽然流速慢些会稍許增長水洗時間，但还是合算的。圖(6-9)表示水洗時間相同时，水流速度对水洗完善程度的影响。曲綫 1 和 2 分别表示在含有明矾的定影液和鉻矾定影液內所定影好軟片的水洗情况。

近来广泛地采用所謂电影片的“噴水”冲洗法，即用特別的噴水器將水噴到負片面上，这种方法可以增大水洗速度好几倍。

(三) 縮短水洗時間的方法

(1) 增大水的 pH 值

增大水的 pH 值，可以縮短水洗時間，但 pH 过大时由于明膠的膨脹，反而增大了水洗時間。最合适的水其 pH 值为 5.5—8.0。由于坚膜后的乳剂層膨脹力差，因此若再增大 pH 值时，还可縮短水洗時間。

(2) 在水內加入氯化鈉 (中性鹽)

在水內加入中性鹽，可以縮短水洗的时间。圖(6-10)表示負片和像片在普通的水內和海水內水洗的情况，其中圖6-10(a)是指負片，6-10(b)是指正片。

(3) 增高水溫

水溫增高，会使散布速度增大，因而縮短水洗時間，但这样会使明膠膨脹得很厉害，結果使乳剂層內部分子的路徑增大而抵消加快的速度。此外，还会使乳剂層的結实

性降低。水洗的最有利的水温为14—20°C，温度对水洗时间的影响见图(6-14)所示。

(4) 用破坏剂 (药方见附录)

假如不可能长时间水洗时，可采用硫代硫酸钠的破坏剂，使硫代硫酸钠变成其他的化合物，因而使影像在保存过程中不会受到损坏，硫代硫酸钠的最有效的破坏剂为过氧化氢与氨所组成的混合物。

破坏剂最常用的是在像片水洗时使用，因像片要水洗得完全干净是特别困难的(像片和负片水洗的破坏剂药方见附录)。

像片的水洗比负片的水洗要复杂些。照理，像纸的乳剂层比负片的乳剂层薄，水洗时间应短些，但事实不然，由于硫代硫酸盐或其他的盐容易透入并保存在硫酸银层与纸层内，因而会使水洗时间加长。

有时在纸层(涂乳剂层的纸)的两面预先涂上一层防水漆，此时，对像片水洗和干燥都会快得多。

§ 6.9 干 燥

经过水洗完毕以后的正片或负片应该将其水份除去，这样就叫做干燥。在原理上，干燥和水洗同是属于扩散现象。正片或负片的干燥就是使水份扩散到空气中去。乳剂层内的水汽浓度与接触层空气内水汽的浓度如果差别愈大，则干燥的速度就愈快。因此，利用通风器来吹动空气以减少接触空气的含水浓度，或移动需要干燥的正片或负片，都同样可得到加速干燥的效果。

空气湿度的大小，直接影响到干燥的速度，因此，如空气湿度很大时，可用室内加温的方法来进行干燥，但温度不能过高，因过度了会使乳剂表面形成一层薄膜，干燥反会减慢。干燥速度还与乳剂本身的厚薄有关，薄的比厚的干燥快些，经坚膜的乳剂干燥得快些。

有时为了加快干燥的速度，可将感光片放在酒精内几分钟后取出干燥，其速度很快，但对于软片应该冲淡酒精为70—80%的浓度来使用。一般若无急速要求，则只将感光材料放在通风室内的干燥架上，进行干燥。

§ 6.10 正片过程

负片是摄影过程中取得正像的半成品，而正像才是最后的成品。在科学和技术上的摄影有时需使用负片。例如：利用负片来量测各物体之间的相对距离，利用量测出负片上的黑度以估计摄影物体的亮度等等。特别在航空摄影测量中，负片的使用更为广泛。但是，在该情况下除使用负片以外，还必须同时将所有负片晒成像片。

正由于负片是过渡性的影像，因此对它的要求和对正像的要求有所不同。对负片的基本要求是：它的各种特性要良好，以便能够晒出高质量的正像。而对正像的基本要求

則是：它能正确的表达出被攝物体。

在評定正像質量时，观察者会不由自主地將正片与原物比較；甚至在沒有看到原物的情况下，也会將它想像出来与正片相比較。根据統計資料証明：最好的像片，其各部分影像的亮度差与原物的相应部分的亮度差最接近。例如：假使在被攝物体上某二部分的亮度差 $B_2:B_1$ 等于 2:1，即一部分的亮度为另一部分的二倍。那末在像片上，也必須使这两个相应部分的亮度保持同样的比例。假使像片上所有各部分的亮度关系都滿足了这个要求，那末这张像片就可認為已正确的表达出被攝物体的亮度差。

为了研究方便起見，亮度的比例关系以对数式来表示：即將二亮度之比 $B_2:B_1$ 以其对数 $\log B_2/B_1$ 来替代，例如：

$$\text{若 } \frac{B_2}{B_1} = \frac{2}{1}$$

$$\text{則 } \log \frac{B_2}{B_1} = \log B_2 - \log B_1 = \Delta \log B_0 = 0.3$$

因此，当物体的亮度差正确恢复时，正片上亮度对数的增量 $\Delta \log B_{\text{正}}$ 應該等于被攝物体亮度对数的增量 $\Delta \log B_0$ 。即：

$$\Delta \log B_{\text{正}} = \Delta \log B_0 \quad (6-2)$$

这便是正确恢复被攝物体亮度差的条件。

反映在正片上，影像亮度最大的部分，其黑度为最小；而亮度最小的部分，黑度为最大。也就是說影像亮度与它本身的黑度有着相反的关系。如果影像的亮度，拿光学黑度来表示，那末影像亮度差的正增量 $\Delta \log B_0$ 就相应于它本身黑度差的負增量 $-\Delta D_{\text{正}}$ 。于是正片上正确恢复物体亮度差的条件可改写为：

$$\Delta \log B_0 = -\Delta D_{\text{正}} \quad (6-2')$$

但是應該注意，这里所說的亮度差的正确恢复，并不意味着影像亮度与原物相应部分的亮度完全相等。因为物体本身的亮度值与正片亮度值，在某种一定光照条件下，往往是不同的。

正片是由負片过渡而来。如果在正片上能正确的恢复景物的亮度差，則必然是由于負片过程和正片过程的两个恢复阶段的总結果。因此要研究亮度差的恢复問題，就必須同时研究这两个恢复阶段。

假設某一景物的任意两个部分的亮度为 B_2 和 B_1 ，其亮度比的对数（即亮度差）仍以 $\Delta \log B_0$ 表示。圖 6-12 內，曲綫 AB 表示負片的特性曲綫。橫軸（代表 $\log B_0$ ）上所取的某一綫段 $\Delta \log B_0$ ，即表示該物体的亮度差。假定物体亮度 B_2 和 B_1 在負片特性曲綫直綫部分的相应光学黑度为 D_2 和 D_1 ，則由該圖可得：

$$\gamma_{\text{負}} = \frac{D_2 - D_1}{\Delta \log B_0} = \frac{\Delta D_{\text{負}}}{\Delta \log B_0}$$

$$\text{即 } \Delta D_{\text{負}} = \gamma_{\text{負}} \cdot \Delta \log B_0$$

当 $\gamma_{\text{負}} = 1$ 时，則 $\Delta D_{\text{負}} = \Delta \log B_0$ ，這說明在負片上，亮度差已正确的恢复了。假使

$\gamma_{负} > 1$, 则 $\Delta D_{负} > \Delta \log B_0$, 即负片上影像的反差就比原景物大。相反的, 假使 $\gamma_{负} < 1$, 则 $\Delta D_{负} < \Delta \log B_0$, 即负片上影像的反差比原景物小 (圖 6-12a 即为此情况)。

圖 6-12b 表示负片黑度差与正片黑度差之间的关系。在横轴所截取的綫段表示负片光学黑度差。此綫段的分划方向与一般的分划方向相反, 即光学黑度是从右向左增加, 这样也就相当于正片材料上的曝光量对数是自左向右增加。MN 为正片的特性曲线。在横轴上所截取的綫段 $\Delta D_{负}$ 除表示负片的光学黑度差以外, 还表示正片上所受的曝光量对数之差其数值与 $\Delta D_{负}$ 相等。假定, 晒像时, 曝光量选择得很恰当使正片上所得的黑度刚好能落在正片特性曲线的直綫部分。则从图中可得下式:

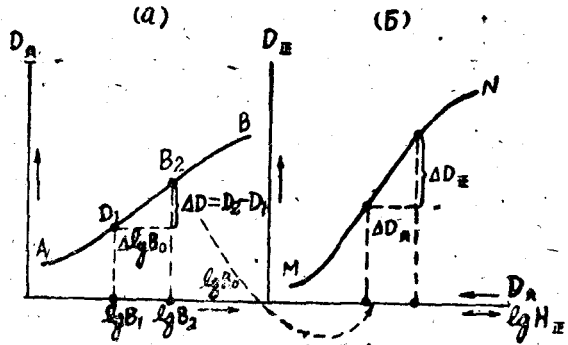


圖 6-12. $\Delta \lg B_0$, $\Delta D_{负}$ 和 $\Delta D_{正}$ 三者的关系

或者

$$\gamma_{正} = \frac{\Delta D_{正}}{-\Delta D_{负}}$$

$$\Delta D_{正} = \gamma_{正} \cdot (-\Delta D_{负})$$

假使 $\gamma_{正} = 1$, 则 $\Delta D_{正} = -\Delta D_{负}$ 。即正片的黑度差与负片的黑度差相等, 这就说明正片上已正确的恢复了负片影像的反差。而负号仅说明相应影像的黑度相反。假使 $\gamma_{正} > 1$, 则 $\Delta D_{正} > \Delta D_{负}$, 即正像反差就要比负像的大。相反的假使 $\gamma_{正} < 1$, 则 $\Delta D_{正} < -\Delta D_{负}$, 即正像反差比负像的小。

根据以上所述, 现在就不难确定物体和正片两者亮度差之间的数学关系, 将 $\Delta D_{负}$ 的等值 $\gamma_{负} \Delta \log B_0$ 代入上式, 则得

$$-\Delta D_{正} = \gamma_{正} \cdot \gamma_{负} \cdot \Delta \log B_0 \quad (6-3)$$

因此, 正片上的光学黑度差就等于物体的亮度差、负片反差系数和正片反差系数三个数量的连乘积。假使 $\gamma_{负} \cdot \gamma_{正} = 1$, 则得 $-\Delta D_{正} = \Delta \log B_0$ 。与(6-2')式比较, 便可知这时正片影像已正确恢复了被摄景物。如果 $\gamma_{负} \cdot \gamma_{正} > 1$, 则 $-\Delta D_{正} > \Delta \log B_0$, 即正像的反差大于景物的反差。如果 $\gamma_{负} \cdot \gamma_{正} < 1$, 则情况相反。由此可知, 正片影像的是否正确恢复, 取决于 $\gamma_{负} \cdot \gamma_{正}$ 的乘积是否等于1。因此

$$\gamma_{负} \cdot \gamma_{正} = 1 \quad (6-4)$$

即为正确恢复的条件。很明显, 要满足这个条件, 可以有很多种方法。例如, 可把负片显影到 $\gamma_{负}$ 等于0.5, 而使正片 $\gamma_{正}$ 保持等于2.0。在个别情况下, 负片 $\gamma_{负}$ 等于1, 则此时亦应使正片 $\gamma_{正}$ 等于1。

假使负片影像和正片影像都是只使用直綫部分, 那末亮度差的恢复是比较容易的。但是, 在一般情况下, 负片常常使用到曝光不足的部分, 而正片是曝光不足部分和曝光

过度部分都要用到，只有在个别的特殊情况，例如，当复制负片时（即将原来的负片晒成副本），才必须使用直线部分。因此，要使正片影像得到正确恢复，就应该根据实际要求以选择合适的像纸来解决。

在实际工作中，也并不是所有的正像都要使它正确恢复。因为如果这样，有时反而达不到我们的要求。例如在硬性光照下摄取的人像，就需要取得反差较小的正像。又如在空中摄影中，就需要摄取反差最大的正像，以便对反差很小的航摄影物的细节能很好的判读。因此，我们在空中摄影中，选择像纸，常常不是完全要求使 $\gamma_{正} \cdot \gamma_{负} = 1$ 而是要使它大于1。

第二部分 空中攝影及其攝影處理

第七章 空中攝影

§ 7.1 空中攝影的目的和航攝負片应具备的基本条件

空中攝影的最終目的是为了取得一定比例尺的航攝像片，以及根据航攝像片来測繪地形圖或进行判讀，以滿足社会主义經濟建設的需要。

我們知道，从光学影像到負像再由負像到正像（像片）是获得航攝像片的整个过程，而在这个过程中由光学影像到負像是最重要的一环；从航測制圖的一般情况看来像片是成圖的原始資料，像片的質量主要是由負片来决定，所以負片質量对于成圖的精度，成圖的工效，成圖的經濟指标以及对判讀特性均有决定性的影响。

要获得質量优良的負片，應該要求空中攝影方面和航空攝影技术方面共同保證的，忽視任何一方均不容許。对空中攝影而言，尽管它有着各种不同的目的性，但是，在保證負片質量方面，必須滿足下面三个基本条件：

第一、航空景物在負片上显现出来的負像必須清晰而且具有适当的黑度。

第二、相隣景物的影像和同一物体上各不同部分的影像都应具有肉眼可以觀察的显著反差。

第三、亮度相同的景物不論居于負片上的任何位置，显现的色調都应大致相同。

上面第一、第三两个条件，是从測圖的精度和肉眼能很自然而又舒适的辨别地物的形狀、大小及位置所需要的黑度差和色調出發而提出的。第三个条件是从判讀不發生錯覺的前提而提出的。

要滿足这三个条件主要从这几个方面来討論：第一，航空景物照度的变化和太陽光譜成分的变化；第二，航空景物本身的光譜特性；第三，大气光学特性以及其他。

§ 7.2 航空景物的照度

(一) 直射光和散射光照射下航空景物的照度

太陽是航攝中的主要光源。影响航空景物照度最主要的因素为：1. 太陽高度；2. 大气情况；3. 地表面的反射能力。

所有射到地面上的光綫，可以分成直射光和散射光。经过大气層乱反射后而达到地面的光叫散射光，在黎明和黃昏太陽光未直接照射至地面时地面所受到的均是散射光。

如果地面上只是受到直射光的輻射則产生直射照度，只有散射光照射时則产生散射照度。

当天空晴朗無云时，其直射照度可按下列公式計算：

$$E_{\odot} = E_0 P \csc h_{\odot} \sin h_{\odot} \quad (7-1)$$

式中： E_{\odot} 是太陽高度角为 h_{\odot} 时，地球表面上所受到的直射光的照度。

E_0 是上層大气边界上所受到的直射光的照度，其值約为十三万四千勒克司。

P 为大气透明度，当 $h_{\odot} = 90^{\circ}$ 时其值約为 0.75。

上式当太陽高度角大于 20° 时其精度已足够实用的需要。

由公式(7-1)知，直射照度与太陽高度角和大气透明度有关，当大气透明度恶化时，直射照度减弱，当太陽高度角由小变大时，則直射照度由弱变强。

分析不同太陽高度时，大气所形成的散射照度值是相当复杂的，因为經多次的觀察証明，当天空無云时，天空各方面的照度是不均匀的，天空亮度的分配随着太陽位置和大气情况而变化。如果假定天空各方向的亮度 B 为常数，則地面上的散射光照度可按下面的簡單公式近似求出

$$E_H = \pi B \quad (7-2)$$

这个公式对空中攝影而言，还是有很大意义的，因为它可以根据所量測的散射照度值，大概的求出大气霧的亮度。

下表是苏联学者研究的夏天晴朗無云时直射光和散射光的照度数值（以千勒克司为單位）。

表 7-1

太陽高度	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
直射光	0	4.5	5.8	11.7	17.7	24.6	31.3	39.4	46.2	55.5	63.4	72.4
散射光	0.5	2.7	4.6	6.1	7.3	8.4	9.5	10.6	11.6	12.6	13.6	14.5
輻射总和	0.5	4.2	10.4	17.8	25.0	33.0	41.8	50.0	57.8	68.1	77.0	86.9

从这表中可以看出，直射光和散射光均随着太陽高度角而增强，但是它們的增大率都各不相同，直射光增大較快而散射光增大較慢，因此直射光和散射光照度的差值随着太陽高度而增大，直射光和散射光照度差增大，航空景物反差也就随之而增大。夏天晴朗無云时除早上和傍晚外直射光的照度比散射光的照度大 3—5 倍。航空景物受直射光照射的部分同时也受到散射光照射，因此一般所謂航空景物的照度就是指直射光照度和散射光照度的总和，即輻射总和。

云層能使直射光减弱，同时又会使散射光增多，对航空景物的照度影响很大。其影响的大小，根据云的种类以及它在天空中所佔的数量而不同。并且每一种云的影响又随太陽高度角而变。

一般 6 千米以上的高云族，多是稀薄的白云。它在地面上不会引起明显的阴影，因而亦就不会或者很少减少直射光；但是它能大大增加散射光致使地面照度显著增加。如果摄影航高不超过云层高度，则在高云族云层的天空里进行航空摄影一般是有利的。

2—6 千米的中云族云层一般比较浓厚，在地面上会形成显著阴影。虽然无云影处，照度亦是增大，但在云影处却显著降低，因而这部分景物的反差会降低。航摄像片上是不容许有云影的，因为云影处往往是曝光不足，细节影纹不易辨认，故在中云族天气里，除了无显著阴影的云层的天气以外，一般不利于进行地形测图的航空摄影。

2 千米以下的低云族，云层都是很浓密层积，遮掩了整个天空，地面上仅有散射光照射，照度很小。这种天气里是不能进行航空摄影的。

除以上所述的三种云族之外，尚有一种高度不定的直展云族，由于它也是很浓密的层积，并且带雨，因而不论处于那个高度上，都是不宜作航空摄影的。

散射光的照度也与地面的反射能力有关。当地面有雪层时，散射照度会大大增加，而且在太阳高度角较小时，它的增大更为显著。表 7-2 是当地面有雪层、中等大气透明度 and 天空无云时不同太阳高度下的地面照度（千勒克司）。

表 7-2

太阳高度角 h_0	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
地面照度												
无雪	0.5	2.7	4.6	6.1	7.3	8.4	9.5	10.6	11.6	12.6	13.6	14.5
有雪	1.6	4.0	5.8	7.2	8.5	9.6	10.8	11.9	12.9	14.0	14.9	14.9
增大百分率	220	48	26	18	17	15	14	12	10	10	10	10

(二) 直射光与散射光的光谱成分

直射光与散射光的光谱成分，从黎明至傍晚的每一时刻严格说来均在变化，根据天空出现的颜色可以明显的看出，在太阳接近地平线时显现出大量的红色光，而在中午接近白色。太阳颜色的变化，每天总是由红到白，再由白到红的循环变化着。这种现象说明天空光谱成分在变化，也说明太阳在接近地平线时这种变化最大。图 7-1 表示在一天内直射光和散射光的光谱成分改变情况。

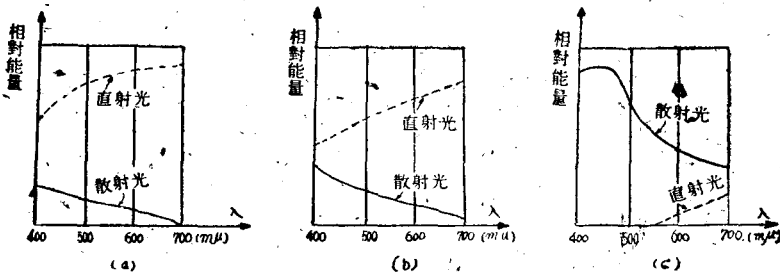


图 7-1. 一日内直射光与散射光光谱成分的改变情况
(a) — 中午时；(b) — 早晨或傍晚；(c) — 日落时

在大气透明度最佳并且其他条件不变的情况下，中午时直接照到地面的直射光最多，相对的黎明和傍晚时射到地面的散射光最多，因为在太阳接近地平线时，太阳必须通过比中午厚得多的大气层才能射入地面。太阳光的短波部分在大气层中大量被散射，因而这部分的光损失很大，只有较长波长的光方能部分或全部通过而达到地面，因此早晚时太阳或天空云层会呈微红色。当太阳高度逐渐增加，光线通过大气的距离缩短，短波光线的散射渐渐减少，这样直射光与散射光的光谱成分在散射减少后红光逐渐转为白光。

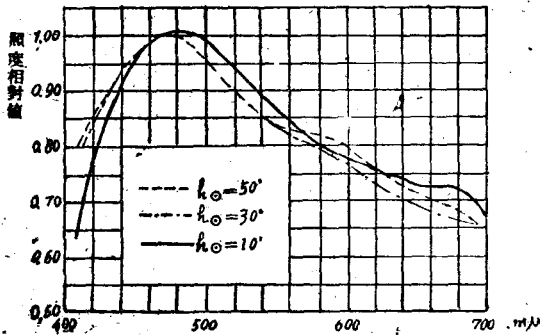


圖 7-2. 輻射总和的光谱分布

光谱成分的转变是相当迅速的，当太阳高度角在 15° 以后，光谱成分已接近白光了。根据实验的结果知道，当太阳高度角为 10° — 50° 时直射光与散射光的光谱成分没有多大的差别（如图 7-2 所示）；这样我们可以认为白天地面总照度的光谱成分的实际分布仍然是不变的，这对空中摄影是非常有利的，因为航摄时，长时间对某一摄区摄影，摄区的航空景物反射各种色光不致有显著的差别；航摄负片上显现出同一类型的航空景物其色调可以大致相同。

§ 7.3 航空景物的光谱特性

(一) 航空景物的亮度系数 γ ：

空中摄影不仅与景物的照度有关，而且也与景物的反射能力有很大关系，后者就是所谓亮度系数。亮度系数是指在相同照度条件下某物体表面的亮度 B ，与绝对白色的理想表面的亮度 B_0 之比，以 γ 表示之：

$$\gamma = \frac{B}{B_0}$$

因绝对白色的理想表面的 $\gamma=1$ ，因此，当照度等于 E 时，其亮度 B_0 为：

$$B_0 = \frac{E}{\pi} \quad (7-3)$$

故任何物体的亮度应为

$$B = \gamma \frac{E}{\pi} \quad (7-4)$$

亮度系数，是在混合反射情况下引出的一个量，混合反射系指一部分光是有向反射（镜面反射）另一部分光向各方向均匀散射（漫反射）之和。

任何一个物体，如果是漫反射，则从任何一个方向去看，亮度是相同的。但混合反射，其中包括镜面反射，因此不可能从任意一个方向上看其亮度均相同，所以亮度系数

是对某一个方向而言，不同方向其亮度系数亦不同。

表 7-3 所列的航空景物的亮度系数 γ 值，是在白色太阳光照射下各物体的亮度系数值。

各种物体的亮度系数

表 7-3

名 称	γ	名 称	γ
繁茂的绿色草地	0.06	潮湿的黑土	0.02
干谷中绿色的草地	0.07	海	0.07
幼苗稀少的田野	0.60	洋	0.035
黄色的草地(在直角方向摄影)	0.14	新降落的雪	1.00
黄色的草地(在锐角方向摄影)	0.20	半陈旧的积雪	0.90
干燥的黄色草原	0.10	正溶解的积雪	0.80
绿色的农作物	0.05	河川的冰	0.35
成熟的农作物(黄色)(在直角方向摄影)	0.15	干的公路	0.32
成熟的农作物(黄色)(在锐角方向摄影)	0.35	湿的公路	0.11
收获后的田地	0.10	干的园石路	0.20
藓苔的沼地	0.05	湿的园石路	0.05
针叶树林	0.04	沙土上的干土路	0.09
夏天的阔叶树林	0.05	粘土上的干土路	0.21
秋天的阔叶树林	0.15	黑土上的干土路	0.08
冬天的阔叶树林	0.07	红砖房子	0.20
干燥的黄沙	0.15	白色石灰石	0.40
干燥的紅沙	0.10	白色牆(新)	0.90
干燥的沙土	0.13	白色牆(旧)	0.70
潮湿的沙土	0.06	花岗岩的岩層	0.17
干燥的粘土	0.15	稻草	0.15
潮湿的粘土	0.06	紅色屋頂	0.13
干燥的黑土	0.03		

由上表知，各种物体的亮度系数之差别是很大的，黑土的亮度系数最小（潮湿的黑土为 0.02），雪的亮度系数最大（新降落的雪为 1）。在照度相同条件下，亮度之比实际上等于亮度系数之比，即：

$$\frac{B_{\text{最大}}}{B_{\text{最小}}} = \frac{\gamma_{\text{最大}}}{\gamma_{\text{最小}}} = \frac{1}{0.02} = 50$$

由此可知，航空景物的亮度范围大约在 50:1 的范围内变动着。

(二) 航空景物的光谱亮度系数 γ_{λ}

航空景物差不多都带有某种颜色，颜色是由很多波长不同的单色光组成。如果从单色波长来看，亮度系数会依所受光波的波长的大小而变，这样亮度系数就不足以表达物体表面的特性了，因此我们有必要研究一下物体的光谱亮度系数 γ_{λ} 。光谱亮度系数是在单色波长下的亮度系数。

一般有颜色的物体，其单色波长的亮度系数（光谱亮度系数）不会完全一样，就是从新降落的雪来看，颜色虽然是白的，但在白色中，光谱的亮度系数也发现有些变化。

各种物体带有不同色彩，因此摄影时所应用的波长范围就相当广阔了（约从400—800毫微米）。

苏联学者 E.И. 克里诺夫研究了許多物体光谱反射能力的的数据以后，将物体分为以下三大类：

第 I 类 不生长植物的土地与土壤

第 1 种 黑土和沙路，土路及其他物体。

第 2 种 灰土、粘土等、公路、某些建筑物。

第 3 种 沙泥，不生长植物的沙漠，某些山上的岩石。

第 4 种 石灰石，泥地和其它某些最亮的东

西。

第 II 类 植物

第 1 种 冬天的针叶树林。

第 2 种 夏天的针叶树林，干谷中的草地以及生长不茂盛的草地。

第 3 种 夏天的阔叶树林和各种长有繁茂植物的草原。

第 4 种 冬天带有彩色的树林和农作物成熟的田野。

第 III 类 水面和雪地

第 1 种 复有冰层的雪。

第 2 种 新降落的雪地。

第 3 种 能够反射蓝色天空的水面。

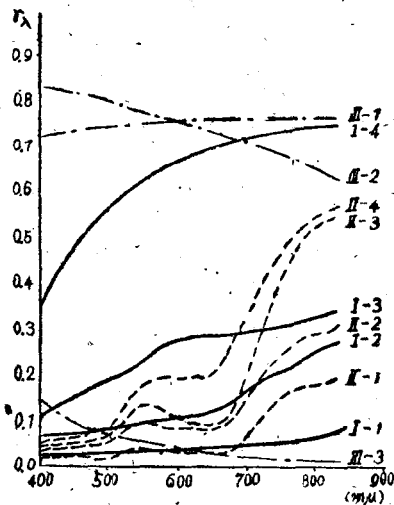


圖 7-3. 地面物体的光谱特性
I—不生长植物的土地与土壤；II—植物；
III—水面和积雪

上述各类物体根据测定的光谱亮度系数，用图解表示如下：

由圖 7-3 可知：

第 I 类航空景物的光谱特性是： r_{λ} 愈靠近光谱红外光部分其值愈大，也就是说，这一类的航空景物对长波光的反射能力要比对短波光的反射能力强。

第 II 类是 r_{λ} 值在波长为 550 毫微米附近，反射能力较强，故植物呈现绿色，在 680—690 毫微米部分（叶绿素的吸收部分）最小，但在接近人眼不可见的红外光部分反射能力又显著的增大。

第 III 类是 r_{λ} 值在光谱蓝紫色部分，反射能力较强；但对不同波长的 r_{λ} 变化较前二类为小。

根据航摄实际的要求，航空景物应分成以下两类：

1) 地面上有积雪的中性（无色）或冬天的航空景物。这类景物的特点是：物体的平均亮度系数比较大，在波长 400—800 毫微米范围内，光谱亮度系数的变化较小，其 r_{λ} 可看成是一个常数。

2) 有色或夏天的航空景物，这类景物的特点是除了大部分光亮的山岩，沙和某些

最亮的东西以外，平均亮度系数比較小，其 γ_{λ} 值随着波長而增大，其变化特別显著。

第Ⅱ类有色航空景物，根据它所相应的季节、气候条件以及地区內所佔有的大多数物体而言，大致相当于 E.П. 克里諾夫分类中的第一类和第二类景物的光譜特性。这两类的主要区别是在于后者在 600—690 毫微米光譜帶內的 γ_{λ} 較小，而在 700—800 毫微米的光譜帶內 γ_{λ} 增大得很显著。

無色航空景物与有色航空景物比較有很大差別。無色航空景物中，最暗物体和最亮物体的亮度系数差別比較大其亮度系数的变化范围为 1:7.5—1:14 或平均为 1:10，并且該差別对于光譜任何部分來說实际上几乎是不变的。

表 7-4

物体的名称	各种綠色物体对下列各波長 450m μ —550m μ 650m μ —850m μ 的光譜亮度系数			
	450m μ	550m μ	650m μ	850m μ
樅树	0.030	0.107	0.066	0.413
樺树	0.065	0.176	0.141	0.524
白楊树	0.046	0.124	0.072	0.589
干谷中的草原	0.047	0.225	0.150	0.940

在有色航空景物中，亮度系数随着光譜而变化的范圍比較大，圖 (7-4) 的光譜特性曲綫是与 E.П. 克里諾夫分类中的第二类景物相符合的，表 (7-4) 內所列的是对不同波長的 γ_{λ} 的平均值。

根据上表內的数据可以看出：第Ⅱ类航空景物中的同一物体，其光譜亮度系数因波長改变所起的变化要比不同物体的亮度系数在光譜的同一部分內的变化大得多。表 7-4 各横行所列的 γ_{λ} 相比大致为 1:10—1:20，而按縱欄所列的 γ_{λ} 相比只有 1:2—1:5。因此，有色航空景物与無色航空景物是有区别的，前者对不同物体的 γ_{λ} 依据光譜所引起的变化很大。

由于有色航空景物在各个光譜区域內的亮度系数不同，因此当我们选择不同光譜区域对有色航空景物摄影时，所得影像的反差往往相差很大。就以圖 7-4 內所列的物体为例，則当选择 400—500 毫微米光譜区域摄影时，由于該光譜区域內，除了各物体的亮度系数都很小外，而且区别不大，因此反映在像片上，各物体的黑度几乎相等，这样它們就很难辨認。但是当选择 700—800 毫微米的光譜区域摄影时，在该区域內各物体亮度系数大大增加，而且其差別也最大，这样在所攝的負片上，各物体之間就有很大的反

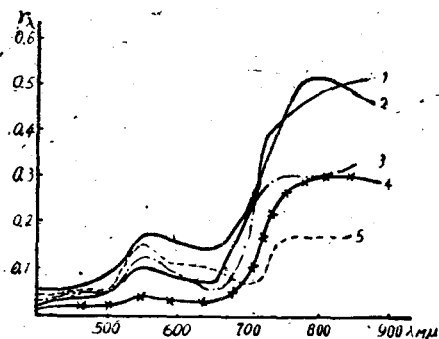


圖 7-4. 植物的光譜特性
1—草地(牧場); 2—白楊树; 3—樺树
4—松树 5—樅树

差。它們的辨認也就非常容易。所以，为判讀目的空中攝影，常常利用景物亮度系数区别最大的光譜区域进行攝影。这种为了增进像片判讀性能而利用狹窄光譜区域进行空中攝影称为光譜帶攝影。

§ 7.4 航空景物的亮度差和平均亮度

(一) 航空景物的亮度差 (景物反差)

航空景物的亮度差与很多因素有关，例如天空出現密集云層时，地面受光比較均匀，在晴天或者云量很少时，背光部分的航空景物要比受光部分的航空景物小得多。据实验的結果，一般要小1—5倍，平均約小3倍。由于这种因素的变化，航空景物的亮度差便增大了3倍。

另外，即使上面因素相同，但由于各种物体不会同处于一个水平面（例如有坡度的地面，与各种人工建筑物的斜坡面），而且地物的傾斜坡度与傾斜方向都不一致，因此各物体的照度，單是受这一因素的影响（雪面除外），也可能差1—3倍。

航空景物的亮度差，可用下式来估計：

$$U = \frac{\gamma_1 \cos \alpha_1 E_1}{\gamma_2 \cos \alpha_2 E_2} \quad (7-5)$$

式中 α_1, α_2 分别表示太陽光对最大亮度系数的物体和最小亮度系数物体的投射角；

γ_1, γ_2 表示最亮、最暗的物体的亮度系数，此亮度系数是对某一定光譜区域内的平均值；

E_1, E_2 分别表示某一定光譜区域内該兩物体平面与太陽垂直时的照度。

在估計航空景物的亮度差时，只須要考虑航空景物与重要的成分。至于那些暫时的成分，例如：烟囱的出口或水面的反射等，即使它的亮度系数很大或者很小，可以不考虑。

苏联学者对于亮度差的估計，有如下的結果：

1. 在冬天地面有雪層时，亮度差为10:1。根据光照的条件和物体对太陽的位置的变化，亮度差 U 可在 $U=10$ 到 $U=50$ 的范围内变化。

2. 夏天航空景物的亮度差，取决于攝影的光譜部分。由于使用光譜部分的不同，亮度差要在 $U=2$ 到 $U=10$ 的范围内变化。

因此总的說来，有色航空景物，其亮度差要在 $U=2$ 到 $U=50$ 的范围内变化。

(二) 航空景物的平均亮度 \bar{B}

平均亮度是空中攝影过程中估計曝光时间的根据之一，航空景物和其他景物一样，可以把它看成是各种細小物体的总和。这些細小物体都是有一定的亮度。并在攝影区的全部地面上佔有若干面积，假設这些物体的亮度分别为 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$

其相应面积为

$$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$$

則平均亮度为

$$\bar{B} = \frac{\sum_{1}^n B \cdot S}{\sum_{1}^n S} \quad (7-6)$$

根据苏联的研究材料得出，在垂直空中摄影太陽高度接近中午时，航空景物的平均亮度系数为：

冬天的航空景物平均值……………0.50

夏天的航空景物平均值……………0.15

在这一节中我們討論了，景物的亮度系数、亮度差、平均亮度等問題，并給出一定的实验数据，使我們对航空景物的亮度特性有个比較正确的估計，这些数据可作为計算曝光时间的依据。

§ 7.5 大气对空中摄影的影响及其消除方法

(一) 大气与大气的組成

大气对空中摄影的作用很大，它不仅是飞行的介質，而且与空中摄影过程的特点有关。

当我们从不同的高度上进行空中摄影时，会同时把陽光所照射的航摄影机与摄影物体之間的大气層攝出。所以大气对物体的能見度以及航摄像片的质量都起很大的影响。

大气是一种圍繞着整个地球的气体介質，所分布的高度达 300—400 公里，其密度从地球表面向上逐渐减少，絕大部分的質量都是集中在 30 公里以下。組成大气層的成分，除純潔空气（包括氮約 78%，氧約 21%，氫約 1% 以及其他極微量的稀有气体）外，还有水汽、碳酸气、灰塵和烟霧等。在上層大气中，尚存在有臭氧，臭氧对紫外光的吸收能力很强，水汽对紅外光有若干吸收帶。因此这二种气体会使太陽光譜兩端部分（紫外光和紅外光）的透明度减小，对摄影的影响很大。

灰塵是一种悬浮的固体質点。这些質点的大小通常要比空气分子的直徑大得多。虽然空气分子的大小比灰塵質点要小，但是，在数量上空气分子却比它多得多。由于空气分子在数量上佔优势，因此大气成分对空中摄影起主要影响的还是气体質点对光綫的散射。

灰塵的数量和特性，一方面随着地面的各种条件而变，如海上和冬天积雪地区的空气較为清潔，另一方面亦随着高度增大而迅速减少。

灰塵是水蒸汽的凝結中心，因此它不單影响大气光学性能，而且对云和霧的形成起很大的作用。

(二) 大气透明度

为了分析許多有关空中摄影中大气朦霧的影响和航空景物各部分亮度的产生問題，

这里我們來說明一下大气透明度。

大气也是一种非绝对透明的介质，它能透过光线也能吸收和散射部分光线，因此，光线通过大气层之前与通过之后，在数量上是不等的，根据第四章所讨论的透明度定义，大气透明度可写为：

$$P = \frac{F}{F_0} \tag{7-7}$$

式中 F_0 为射入大气层以前的光强；

F 为通过大气层以后的光强。

现设 K 为光在大气层中每公里的减弱系数

l 为太阳高度 $h_0 = 90^\circ$ 时光线所通过的大气层厚度

当大气层厚度增加 dl 时，则通过光强 F 减少 dF ，故

$$dF = -FK dl$$

$$\frac{dF}{F} = -K \cdot dl$$

$$\int_{F_0}^F \frac{dF}{F} = -K \int_0^l dl$$

$$\lg F - \lg F_0 = -Kl$$

$$\frac{F}{F_0} = e^{-Kl}$$

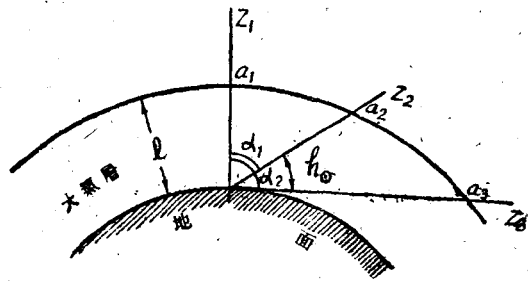


图 7-5. 大气透明度与太阳高度的关系

$$P = e^{-Kl} \tag{7-8}$$

当太阳高度 $h_0 \neq 90^\circ$ 时，则其透明度 T 为：

$$T = e^{-Kl \cdot \text{csch } h_0}$$

$$T = P \cdot \text{csch } h_0 \tag{7-9}$$

T 是太阳高度角 $h_0 < 90^\circ$ 时的大气透明度。

$K \cdot l \cdot \text{csch } h_0$ 称为太阳高度 $h_0 < 90^\circ$ 时的大气光学厚度。

显然，大气光学厚度愈大，大气透明度愈小，通过的光愈少，这样地面照度便减弱。

太阳高度角 h_0 愈大，通过光量愈多；或者说透明度增大，地面照度愈大，如果从大气透明度大小这个角度来看，那末空中摄影的时间是中午最佳。

不同波长的色光，在大气层中的减弱系数是不同的，因而相应的大气光谱透明度也是不等的，兹将实验结果列于表 7-5 内。

从表 7-5 中，我们可以看出：对于短波光的大气透明度小，而对于长波光的大气透明度大。因此，实际上厚度相同的大气层，对于短波光就好像显得厚些，而对长波光却较薄。这说明在同一条件下大气光学厚度是随着波长而改变的。由此可以知道，在大气透明度较差的情况下，利用长波光摄影是有利的。

表 7-5

波 長 λ (毫微米)	大气光谱透明度 P_{λ}	大气光学厚度 ($K \cdot t \operatorname{csch} \odot$)
300	0.070	2.60
350	0.455	0.78
400	0.575	0.55
450	0.640	0.44
500	0.700	0.35
550	0.735	0.31
600	0.760	0.27
650	0.805	0.22
700	0.840	0.17
750	0.860	0.16
800	0.867	0.14
850	0.877	0.13
950	0.893	0.11

(三) 光在大气中的散射

光线的散射在任何气体介质里都可以发现，特别是在没有较大分子（如灰塵）混合时的純潔大气中尤甚。連尔曾經从理想純潔大气中的实验中，得出下列大气的散射系数公式

$$C = \frac{\pi^2(n^2-1)^2}{2N\lambda^4}(1 + \cos^2\varphi) \quad (7-10)$$

式中 n ——空气折射率；

N ——单位体积内气体分子数目（每 1 立方厘米内约为 2.7×10^{19} ）；

φ ——投射光线与散射光线（观察方向）的夹角；

λ ——光波之長；

C ——散射系数，它表示大气层散射光强度与射到大气层的光强度的比值。

从上式，我們可看出：

1) 純潔大气内的光线散射系数与波長的四次方成反比。

例如：波長为 400 毫微米的紫光，其散射系数比波長为 800 毫微米的紅外光散射系数大 16 倍（因为 $2^4=16$ ）。

式 (7-10) 只适用于純潔大气的情况，但由于实际大气不可能很純潔，而是帶有一定量的灰塵和水汽等，因此，实际上得出散射系数不是完全与波長四次方成反比，而可能是三次方或二次方的反比关系。尽管如此，但它还是符合波長越短，其散射程度越大的規律。这一結論对于空中攝影來說，有很大的实际意义，因为由此可知，在航攝时要消除这种散射光，就必须使用濾光片，濾除短波光，而采用長波光攝影。

2) 散射系数 C 与入射光和散射光之間的夹角 φ 有关，当 $\varphi=90^\circ$ 或 270° 时，散射系数最小，而当 $\varphi=0^\circ$ 或 180° 时，散射系数最大。由公式可知，最大散射系数应为最小散射系数的二倍。

由此看来，好像正午进行垂直空中摄影很不利（因为此时 $\varphi=0^\circ$ 或 180° ），但是，与实际情况有些出入。因为，正如上面所说的大气不是真正纯洁的，故散射系数也不是完全符合公式 (7-10)。实际上，正午时太阳高度大，透明度好转，地面照度也大，同时，起伏很大的地物的阴影也小。因此，若采用一定的感光材料和滤光片配合时，正午附近进行空中摄影还是一天中最有利的时间。

(四) 空中雾对恢复航空景物的影响以及消除方法

当透过大气层作肉眼观察时，除了发现景物的亮度减少外，同时，还会发现因大气中的散射而使所观察的大气亮度增大。这种因景物亮度减少而大气亮度增大的现象，称为空中雾现象。

在水平方向上来估计空中雾亮度是比较容易的，因为在同一高度的大气层，其性质相差不大，但是，对于空中摄影来说，主要是估计垂直方向的雾亮度，由于在不同高度的大气层，其性质不完全相同，也就是说，雾亮度不是与大气层厚度成正比关系。另外，在不同倾斜方向上，雾亮度也不相等（因为不同方向的透明度不等），因此，要正确的估计垂直方向的雾亮度，还是一个很复杂的问题。

当空中雾增大时，雾亮度也增大，因而，大气的透明度减小。在实际情况下，估计雾亮度不是以其绝对值 β ，而是用雾亮度系数 κ 来表示：

$$\kappa = \frac{\beta}{TB_0} \quad (7-11)$$

式中 β ——雾亮度。

T ——观测某物体所通过的大气层的透明度。

B_0 ——水平的位于航空景物平面内的绝对白表面的亮度。

数值 β 取决于光照的条件，而 κ 值类似于航空景物的亮度系数，任一物体的亮度系数可以用这个物体的亮度与绝对白表面亮度的比值来表示，而空中雾的亮度系数与之相似，也可以用雾亮度与通过该大气层所观测的绝对白表面亮度的比值来表示，该特征是估计航空摄影雾影响之基础。

兹根据 E. C. 库滋涅佐夫的材料，对大气中等透明度 ($T=0.74$ 光学厚度为 0.3) 和夏季航空景物所计算出来的雾亮度系数值，列举于表 (7-6)。

由表内可以看出，空中雾亮度系数大约与大气光学厚度成比例的增大；同时当光学厚度为常数时，雾亮度系数随太阳高度 h_0 的增大而减少。

兹将空中雾亮度对摄影的影响叙述如下，假设要摄取某一个具有 $B_{最大}$ 和 $B_{最小}$ 的航空景物，也就是说摄取亮度差为 $U = \frac{B_{最大}}{B_{最小}}$ 的航空景物，而且曝光时间选择适当，恰巧使得影像落在特性曲线的直线部分，那么，航摄负片的黑度差就是：

$$\Delta D = \gamma \cdot \log U$$

式中 γ 为感光材料的反差系数。

当通过透明度为 T 和雾亮度为 β 的大气层进行摄影时，由物体本身的亮度和雾

表 7-6

大气光学厚度	近似垂直空中摄影空中雾的亮度系数(κ)			
	$h_{\odot}=60^{\circ}$	$h_{\odot}=45^{\circ}$	$h_{\odot}=30^{\circ}$	$h_{\odot}=14^{\circ}$
0.02	0.0073	0.0086	0.0113	0.0173
0.04	0.0150	0.0179	0.0235	0.0364
0.06	0.0232	0.0277	0.0366	0.0575
0.08	0.0319	0.0380	0.0505	0.0807
0.10	0.0409	0.0489	0.0653	0.1059
0.12	0.0504	0.0603	0.0809	0.1334
0.14	0.0602	0.0723	0.0974	0.1633
0.16	0.0704	0.0848	0.1147	0.1957
0.18	0.0810	0.0977	0.1330	0.2359
0.20	0.0920	0.1112	0.1520	0.2790
0.22	0.1033	0.1252	0.1720	0.3101
0.24	0.1150	0.1396	0.1928	0.3545
0.26	0.1269	0.1544	0.2144	0.4022
0.28	0.1391	0.1696	0.2368	0.4534
0.30	0.1514	0.1851	0.2597	0.5079

亮度所合成的最大和最小亮度，可用下式表示之：

$$B'_{\text{最大}} = B_{\text{最大}} \cdot T + \beta;$$

$$B'_{\text{最小}} = B_{\text{最小}} \cdot T + \beta.$$

在通过大气层观察时，也就是考虑雾亮度时，航空景物的亮度差以下式表示：

$$U' = \frac{B'_{\text{最大}}}{B'_{\text{最小}}} = \frac{B_{\text{最大}} T + \beta}{B_{\text{最小}} T + \beta} = \frac{U + \sigma}{1 + \sigma} \quad (7-12)$$

式中 $\sigma = \frac{\beta}{B_{\text{最小}} \cdot T} = \frac{\kappa}{\gamma_{\text{最小}}}$ ，而 $\gamma_{\text{最小}} = \frac{B_{\text{最小}}}{B_0}$ ，它表示物体的最小亮度系数，很明显，

因为 $U > U'$ ，因此航摄负片的黑度差 ΔD 缩小了，而且航空景物细部的表达能力也相应地变坏了。为了要估算空中雾对摄影的影响，首先要求出最小亮度系数 $\gamma_{\text{最小}}$ 、雾亮度系数 κ 和航空景物的亮度差。根据 Г. П. 法耶尔曼的材料，夏天航空景物的最小亮度系数 $\gamma_{\text{最小}}$ 可采用 0.10，根据公式 (7-12) 用已知值 U 和 σ 来计算 U' 。假设当已知的摄影条件：光学厚度 = 0.12， $h_{\odot} = 45^{\circ}$ ， $U = 5$ 时，则由表 (7-6) 得 $\kappa = 0.0603$ ， $\sigma = 0.603$ 代入式 (7-12) 可得 $U' = 3.5$ 。显然，假如用显影达到 $\gamma = 1.4$ 的航摄软片进行摄影，则当没有空中雾时， $\Delta D = 0.98$ (因为 $\log U = \lg 5 = 0.70$)，而在上述条件下进行空中摄影时，则 $\Delta D = 0.76$ ，这样便显著的减低了航摄负片的质量。

在实际的空中摄影中，补偿空中雾影响的方法，通常有以下两种，一种是利用光谱长波部分摄影以减少雾的影响，另一种是增大负片材料的反差系数。通常空中摄影是全色航摄软片，但有时也有用红外的航摄软片，并加上适当的滤光片，因此可以在光谱的橙红色或红外部分进行摄影。当其他条件相等时，该光谱部分的大气雾亮度系数值比在光谱短波部分要小很多。

§7.6 空中攝影曝光時間的計算

在已經討論過航空景物的照度，平均亮度和平均亮度係數之後，我們即可着手來討論如何計算曝光時間的問題。

在第四章公式 (4-6) 中已給出：

$$S_d = \frac{10}{H D = D_0 + 0.85}$$

曝光量 H 是取決於像面所受照度 E' 和曝光時間 t ，即 $H = E' \cdot t$ ，

$$\therefore S_d = \frac{10}{E' \cdot t}$$

$$\therefore t = \frac{10}{E' \cdot S_d} \quad (7-13)$$

假如不考慮到攝影機照度分布問題時，則像面所受照度 E' 可根據下式求得：

$$E' = B \frac{1}{4 k^2} \cdot K_a \quad (7-14)$$

式中 B ——航空景物的亮度。

K_a ——航攝機物鏡的透光係數。

k ——航攝機物鏡的相對孔徑倒數。

$$\text{又因} \quad B = E \cdot \bar{\gamma} \quad (7-15)$$

式中 E ——航空景物的照度。

$\bar{\gamma}$ ——航空景物平均亮度係數。

將 (7-15) 代入 (7-14) 得：

$$E' = \frac{E \cdot \bar{\gamma}}{4 k^2} \cdot K_a \quad (7-16)$$

最後將 (7-16) 代入 (7-13) 就可得到計算曝光時間的公式：

$$t = 40 \frac{k^2}{S_d \cdot E \cdot \bar{\gamma} \cdot K_a}$$

假如，在攝影時是採用濾光片的話，則須考慮到該濾光片對應於所採用感光材料的倍數 K_ϕ ，則最後可得出計算曝光時間的完整公式：

$$t = 40 \frac{k^2 \cdot K_\phi}{S_d \cdot E \cdot \bar{\gamma} \cdot K_a} \quad (7-17)$$

假定所攝的航空景物照度 $E = 2000$ 勒克司，航攝機的相對孔徑為 1:4.5 即 $k = 4.5$ ，航攝物鏡的透光係數 $K_a = 0.5$ ，航空景物之平均亮度係數 $\bar{\gamma} = 0.5$ （相當於夏天航空景物之平均亮度係數），採用的航攝底片感光度為 $S_d = 900$ FCCT，濾光片倍數 $K_\phi = 2$ ，則

$$t = \frac{40 \times 4.5^2 \times 2}{900 \times 2000 \times 0.15 \times 0.6} = \frac{1}{100} \text{ 秒}$$

由上式知：曝光時間是取決於很多因素的，而且有些因素是相當難於正確的得到，

其中航空景物的照度 E ，就是一个相当复杂的量，因为它是决定于很多因素的（詳見§7.2），它在一天中可以从几百勒克司变到10万勒克司，因此，如何正确的来估計当时航攝景物的照度是一个很复杂問題。在实际計算曝光時間时，照度值是在攝影之前，找出在一定攝影条件下的照度值来作为依据。由此知，用許算法来計算曝光時間这一問題还有待不断的研究，因为，它首先必須解决求算太陽的高度以及如何根据直射和散射等等問題来得出有关总照度的方程式。

曝光時間的調节，一般可以有二种：1)改变物鏡的光圈号数，2)改变快門的速度。后一种方法要受到二种情况的限制：首先是受到由于在曝光瞬間飞机向前运动，而产生影像移位所决定的最大曝光時間限制，其次由于在曝光瞬間飞机的振动所引起影像模糊所决定的最大曝光時間限制。

第八章 航摄負片的摄影处理

I 野外摄影室的任務和它的組織

§§.1 野外摄影室的組織方案、作业室选择以及安全技术

航空摄影队的組織中，一般設置有空勤、冲洗和測繪三个作业組。其中冲洗組的主要任务就是利用摄影化学的方法来处理航摄軟片以及晒印，复照等工作。这些工作都在它所屬的野外摄影室中进行。图8-1为野外摄影室的一般組織方案，

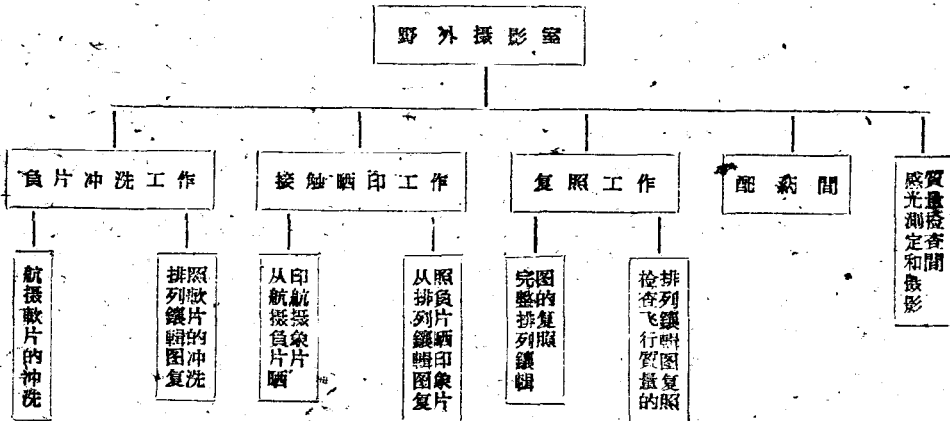


图8-1. 野外摄影室組織方案

冲洗組一般均包括有办公室、配药室、暗室（包括冲洗軟片和接触晒印）、水洗面、干燥室、复照室和材料儲存室等。

配药室、水洗面应具有水源（最好是有自来水設備）和下水道，各室的房屋选择也均有一定的要求。

暗室的选择首先要考虑到外面光綫不能射入室内，这一点对于冲洗軟片的作业室要求最高，房子的窗口最好是向东北开的。为了保证冲洗与晒印能够同时进行，因此必須把冲洗室和晒印室分开。在外业条件下，作业室往往是临时布置的，因此窗口須用不透光的黑紙或黑布遮住，但黑色体吸收光多，夏天会增高室内温度，因此最好在黑紙或黑布外面再加上一层白色的紙或布。

干燥室应该选择通风良好而室内較干燥且无灰尘的房子，室内可以有保持較高的温度，以保证航摄軟片在干净的空气中干燥。

复照室要求有比較寬闊的房子，同時要求有足夠的陽光以及照明設備等。

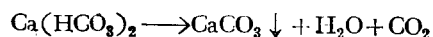
暫時不用的材料應存放在儲存室，儲存室應盡量選擇東南的房子。室內的溫度、濕度應在一定範圍內變動，同時應盡量遠離配藥室，以防止一些有害藥品損壞感光材料。

所有作業室均應有防火設備，尤其室內有軟片等易燃品，應該特別注意防火工作；絕對禁止一切火種存放室內。航攝負片或像片均屬國家的機密資料，保密制度應嚴格貫徹執行，最好應用保險櫃放置航空攝影的資料。

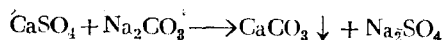
§ 8.2 攝影處理溶液的配制

用來配制攝影處理溶液的化學藥品，在質量方面必須符合一定的要求。當採用不純淨（工業用）的化學藥品時，要考慮到會惡化藥液的保存作用使藥液迅速失效，以及使影像帶來一些額外的缺點，因此工業用的化學藥品應盡量避免。攝影處理用的藥品，其純度應該儘可能的符合化學純度。供分析用的純度則不必要。

對配制溶液及沖洗用的水，需要提出嚴格的要求，即它必須是無色無臭無味的，並且其質量能符合良好的飲水，絕對不能應用其內含有少量硫化氫、氨以及各種有機物的水。對於水的硬度也需要注意，一般允許的硬度（硬度 1° 相當於1升水內含有 CaO 10毫克）為 14° — 16° ，硬度大於 20° 的水絕對不應用。硬度分暫時和永久的兩種，若把兩者混合在一起，就成為一般的硬度。暫時的硬度是由酸性碳酸鈣 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 和酸性碳酸鎂 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 的含量來決定的。暫時的硬度可以用簡單煮沸法來消除，而此時期的酸性碳酸鹽變成不可溶解的碳酸鹽而沉淀：



為了消除溶解在水中的空氣，也必須將水煮沸，因為空氣會促使顯影劑氧化。永久硬度是由氯化鈣、氯化鎂、硫酸鈣和硫酸鎂存在而決定。永久硬水所含有鹽類不能用煮沸方法除去。而須用特殊的方法或者加入一定的化學藥品才能除去，例如，加入 Na_2CO_3 後，使其沉淀：



在野外工作開始以前，最好分析一下附近各水源中的水，並且對配制溶液的水在質量上需要提出特別的要求，若用很硬的水，則會使負片表面產生一層粗糙的白膜；用硬度較小的水，則會產生所謂“鈣網”而不生白膜。假使無條件進行分析，那麼可用兒童肥皂（中性的）擦手，來觀察泡沫的作用與其穩定性。

供配制溶液用的水，都必須煮沸，天然水經煮沸後，還要澄清。能使化學藥品溶解的最宜水溫為 50° — 60°C （但不能再高）。只有硫代硫酸鈉由於其溶解的溫度降低得很多，故需要溶於熱水中。

化學藥品的溶解，須按一定的順序進行，即：首先將顯影劑溶解於含有少量亞硫酸鹽的水中，因為米吐爾在亞硫酸鹽濃度很大的溶液中不易溶解，一般是先取最後水量的

3/4, 次將少量的亞硫酸鹽(佔全部需要量的 1—2%) 溶于該水中, 然後將全部的米吐尔和几奴尼加进去, 待溶解後再繼續加入剩下的亞硫酸鹽, 最後加入鹼和溴化鉀並將水加到需要量。每種化學藥品要在前一種藥品完全溶解後再加入下一種藥品, 每次加入後應用攪棒不斷攪動之。這樣配制的顯影液要澄清, 澄清的部分利用虹吸管流到另一容器里去, 而未澄清部分及殘渣用棉花濾去。顯影液放在瓶中保存時必須裝滿, 瓶口要緊塞, 且以小口瓶為宜。假如是保存在顯影桶里, 那麼就要在溶液表面放上浮起的石腊蓋子, 以避免顯影液與空氣接觸。配制顯影液及其他溶液用的容器, 最好是用不銹鋼或者由瓷制成, 不可採用木制的容器, 因為顯影液滲入木制容器的壁內, 會引起氧化作用, 其氧化物滲透到所配制的溶液內會使溶液變成褐色。

新配的顯影液應該于配好後第二天, 與過去使用過的顯影液作比較, 經過比較認為效果一致然後再用于實際工作中。比較方法有兩種, 一種是感光測定法, 先將過去曾經用來試驗顯影液的同樣軟片(最好是同一卷航攝軟片)一塊, 放在感光測定計上曝光, 次在標準溫度下以同樣顯影時間(與前次顯影時間相同)顯影, 然後量測黑度繪出特性曲線, 最後求出 γ 值。該 γ 值與前次使用的顯影液顯出的結果相較, 其大小未超過 0.1 則此顯影液可用。另一種實際操作試驗法, 先隨意攝取一個固定景物, 次將攝影曝光後的感光片裁成兩半, 一半放在新鮮顯影液中顯影, 另一半放在上次配制的, 並經過使用證明性能良好的顯影液內顯影, 兩者都顯影到同樣時間取出, 然後比較顯影成果是否一致。

上面曾經指出, 新配成的顯影液不應立即使用, 因為在存放時, 它的成分會稍起一些對顯影有利的變化。

§ 8.3 根據空中攝影條件選擇顯影藥方

在不同的顯影情況下, 不能只限于使用成分相同的一種溶液, 因為所顯影的 γ 值對負片的質量影響很大, 另外它還與所攝景物的亮度特性有關。根據景物亮度差的变化, γ 值一般在 1.2 至 2.2 的範圍內變動, 如對山區亮度差較大的景物攝影, 一般顯影 γ 值到 $\gamma=1.2$; 在空中朦霧很大時, 景物的亮度差很小, 此時 γ 值一般顯影到 $\gamma=2.2$ 。

實踐證明: 在負片顯影時, 負片影像的 γ 值, 比感光測定的 γ 值要低 20—30% (用迴轉顯影器顯影)。在計算顯影時間時必須考慮到這一點。其次, 若只是利用一種顯影液, 欲取得不同的 γ 值, 這是不可能或者不方便的。因此至少也必需有三種顯影液: 硬性、中性、調和(軟性)的三種。

此外在顯影過程中, 必需局部地改正曝光的偏差, 因此也需要變更溶液的藥方。航攝軟片的顯影一般是採用米吐尔-几奴尼作顯影劑。配制用于實際工作中的顯影液, 最好事先配成三種備用溶液, 以便保證可以廣泛的改變其成分。

第一種溶液, 含有几奴尼及亞硫酸鹽

第二種溶液, 含有米吐尔及亞硫酸鹽

第三种溶液，含有碱（碳酸钠或碳酸钾）

这三种溶液称为三原液，在三原液中各种药剂的浓度应该适当选择，使得能以混合法将其配成具有必要 γ 值的显影液（在附录内有这种混合液的不同配合法）。在这三种备用溶液中，任何一种都不应加溴化钾，它应该根据需要单独的加在配好的混合液（显影液）中，这样可以更灵活地配制性能适合要求的显影液。配制备用显影液除了上法外，也可以事先配成一种浓度很大的且不加溴化钾的备用溶液（溴化钾临时加入）。当使用这种浓度很大的显影液时，可得到反差较大的影像，若将该液冲淡，则可得到反差较小的影像。失效显影液的补充，也需应用浓度很大且不加溴化钾的显影液。

在冲淡显影液时，必须注意到负片的最后感光特性是取决于还原金属银的数量，而该数量与曝光及显影条件有关，假如曝光相同显影得很完全，即实际上所有受光作用的结晶体已经完全还原，那末最后的结果就几乎相同，假如显影很不完全，即没有达到最大 γ 值，那么就会发现显影液的作用不同。

当显影液冲淡时， γ 值会降低，但是当利用该显影液显影很长时间以后， γ 值仍然会增大，最后达到与未冲淡的显影液显影的效果大致一样，因此可以近似的认为，显影时间需要增加到显影液所冲淡的倍数。所以当要求有较小的 γ 值时，负片浸到冲淡显影液内的时间，应与浸在未冲淡时溶液内所得到标准 γ 值的时间大致相同。通常为了得到中性显影液，用一倍或两倍的水来冲淡浓度大的显影液。

软性显影液或调和显影液的配制，不应使用上述已冲淡的溶液再继续冲淡的办法，因为第一，由于原有药剂的浓度很小，它会很迅速的损耗；第二，当曝光正常的软片显影时，软片曝光不足的那一部分就会显得很慢。因此，要得到软性的显影液，就需应用弱碱或者是采用米吐尔、格里新、对氨基苯酚等作为显影剂。

在组织外业工作时，通常航空景物的特性已预先知道，所以常常只准备两种显影液，例如，中性和硬性或者中性和软性（调和）的显影液。

§ 8.4 航摄软片的显影仪器

航摄软片冲洗与一般负片的冲洗不同，因为航摄软片的宽度、长度均很大，假如单靠手来操作是不可能的，必须借专门的仪器协助完成，这种仪器称为显影器。航摄软片的显影器大致可分为三种，现简单介绍如下：

（一）波紋帶显影器

圖(8-2)为波紋帶显影器構造圖。卷片架1是用在显影之前將航攝軟片与波紋的賽璐珞3一起轉卷在波紋鼓2上。波紋帶3只是表示整条帶的一小段，它是由厚度为2毫米，宽度与航攝軟片大小相等的賽璐珞片（或明膠片）做成。沿帶的兩边黏有厚度为2毫米的、寬为10毫米、高为8毫米的波紋賽璐珞片子（見圖中之3），帶的長度通常稍比航攝軟片長一些。在冲洗之前，先將航攝軟片的一端固定在波紋帶的一端上，然后將其同波紋帶一起轉卷在卷軸4上，形成一个軟片鼓5。該鼓由帶6拉紧，此后將軟片鼓

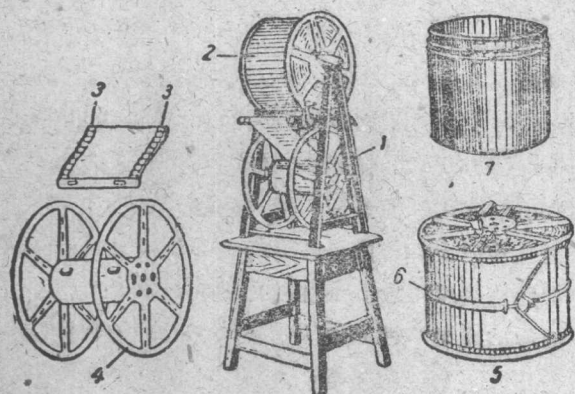


圖 8-2. 波紋帶显影器

1—卷片架；2—波紋鼓；3—波紋帶；4—波紋帶卷軸；
5—軟片鼓；6—帶子；7—裝显影液的桶

放在清水中浸湿，即可浸入裝有显影液的桶7内进行显影，因为波紋帶边上有高低起伏的波紋，这样就保証药液能渗入軟片卷内进行显影而且軟片不会互相貼紧。

此种显影器的优点是比較下面几种显影器显出影像的均匀性好些，因为整卷軟片在药液内冲洗时，其反应生成物能及时向四周介質扩散，并由于反应生成物較重又及时下沉而为新鮮显影液所代替。但必須指出，假如軟片

放在药液内不动，則軟片上黑度很大的下面部分会出现光帶的缺点。

其主要缺点是：

1. 容易产生斑点，因为溶液中的气泡容易附着于軟片的表面，假如气泡是在显影以后才去掉的話，則这些地方会产生透明或半透明的斑点。要避免这一缺陷，可以在开始浸入药液时，將其在溶液内放下又拉出二至三次，使流动的液体将空气赶掉。
2. 軟片的水洗較差，在波紋附近会沉积髒物，而使其不能保持必要的清潔。
3. 有了波紋帶，使显影器体积增大，使用的药液增多，而且又不能用人眼检查显影的程度。

(二) 迴轉显影器

这种显影器是由卷片架和显影桶組成(圖8-3)。卷片架有一对卷片軸，用来卷繞航攝軟片，两个軸上均开有小夾縫以便夾住軟片的兩头，保証軟片能迂迴轉动。

迴轉显影器有三种型式：水平式手搖显影器(圖8-3a)，垂直式手搖显影器，垂直式自动显影器(圖8-3b)。

垂直式自动显影器的支架上安裝有馬达和減速器。減速器可以改变馬达轉速，由5000轉/分鐘減至200轉/分鐘。当軟片由一卷軸轉完时，馬达会自动轉換，而进行反轉。該仪器附有手搖搖柄，当馬达發生故障时，可以用手工操作代替馬达。在此种仪器上显影的軟片可长达60米。

迴轉显影器(垂直式或者水平式)最大缺点是显影程度很不均匀，就是在同一像幅上，其各部分显影程度也是不相同的，因为將軟片由一个卷軸轉到另一个卷軸上去时，只是很短的时间与新鮮显影液接触一下，而却有很長的时间处于卷卷的状态，仅仅依靠渗透到乳剂層内和附着在它表面上很薄一層的显影液起显影作用。我們知道，像幅内受光多的地方，显影作用迅速，药液会很快消耗掉，还原作用可能在軟片轉卷以前就停止。但在受光少的地方，显影作用慢，消耗药液少，因此当受光多的部分(强光部

分) 已因药液消耗而显影作用暂时停止, 受光少的部分还有足够的显影液继续起作用, 这样就会不断增长模糊, 而使负片反差降低。

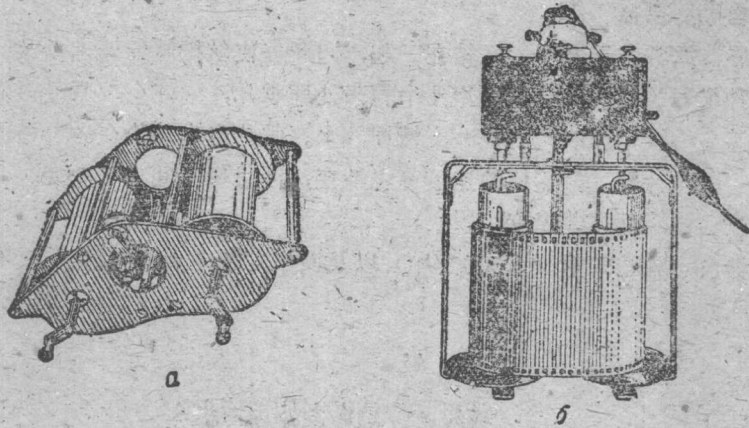


圖 8-3. 迴轉显影器

a—水平式手搖显影器;
b—垂直式自动显影器

垂直式或者水平式迴轉显影器的另一个缺点是出现条纹, 这种现象在软片的两端特别严重。条纹主要是由于装片不正确(软片的边不与卷轴垂直)、片基不平等原因产生, 因此要避免条纹发生, 首先必须使软片绕卷得很平正。

另外, 采用水平式迴轉显影器时, 由于显影时有一半软片周期性的露在外面与空气

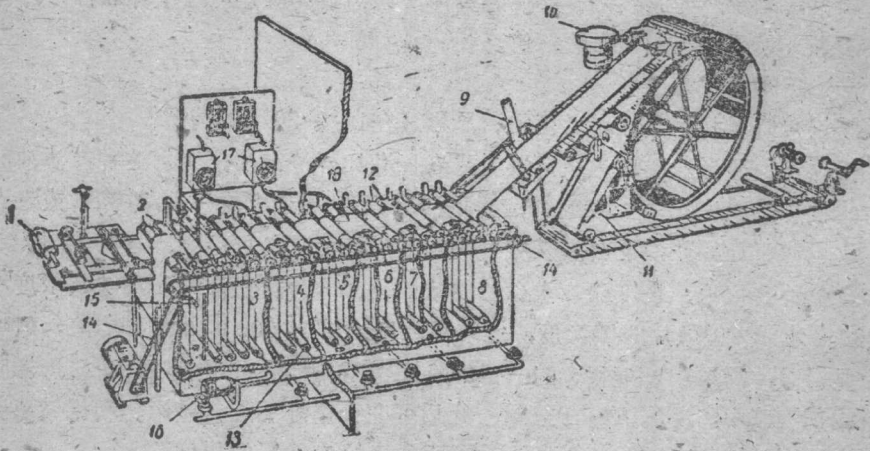


圖 8 4. 自动显影器

1-2—运转软片的轴;
3—显影槽;
4—水;
5-6—定影液;
7-8—水;
9—压片装置;
11—已干的负片;
17—调整装置

接触, 而形成空气隙。

迴轉显影器尽管存在这许多缺点, 但是由于此种仪器在构造上比较简单结实, 体积

不大，并且在冲片过程中可以不断用人眼检查显影程度的优点，在操作技术上也比较方便。

(三) 自动显影器

这种显影器通常与干燥器相联结在一起，因此能使航摄软片处理后及时得到干燥。图 8-4 为此种仪器的略图，此仪器用几个槽来处理软片，前三个放置显影液，紧接着二个槽放水、三个槽放定影液，其余几个槽均放水。软片会自动的在各个槽内运转，最后进入干燥器内。软片经过显影槽的速度可以改变，故显影时间也可改变。另外这种显影器还有自动加温器，供调节温度用。

此种仪器由于构造笨重（重500公斤）以及操作复杂，故在航摄上没有得到广泛的应用。

II 航攝軟片的攝影處理技術

§8.5 各种显影方案

航摄软片的冲洗质量直接影响到航测的作业率和作业精度，因此从保证冲洗质量以及经济观点上来看有决定性意义。

冲洗航摄软片时应该采用这样的显影方法，即按照标准样片冲洗或者按感光测定法冲洗。如果是前者，则应该使显影后的负片，其黑度和反差趋近于标准样片；如果用感光测定法那末必须冲洗到预定的 γ 值。

(一) 正常情况的显影

所谓正常情况是指负片曝光正常，显影液在 $18^{\circ}-20^{\circ}\text{C}$ 的情况。

航摄软片的显影一般均采用目视法或者标准比样冲洗法，使用这种方法冲洗常采用绿色的“批那克里泼托尔”减感剂，这种减感剂可以单独配成一盆减感液，或者当显影液内无几奴尼时（因为几奴尼会因减感剂的加入而沉淀），可把减感剂直接加到显影液内；有少量的几奴尼，也可以加入少量的减感剂，作为防止糜翳，不过其浓度不得超过 $1:20\ 000$ 。为了降低负片的感光度，通常用浓度为 $1:10\ 000$ 的减感剂溶液，但曝光过度的软片显影时，需要用浓度较大的（ $1:2\ 000$ ）减感剂溶液。使用迴轉显影器时，软片卷在减感剂溶液中，浸洗 5—10 分钟，此后可在安全灯下进行显影。利用减感剂进行显影的最大优点是能够在安全灯下用人眼经常的来检查显影的程度。

显影时间的确定，是显影过程中的重要问题，对于冲洗经验不足还没有十分把握保证冲洗质量的冲洗员来说，目视法显影是不宜采用的，因为显影时间的长短决定了负片的冲洗质量。目前航摄软片的冲洗一般均采用标准样片或者用感光测定法控制显影时间。在有感光计和黑度计的情况下，显影时间的确定是按最好的 γ 值来确定，但最好 γ 值对不同地区的航空景物来说是不同的。对于中等反差地区的航空景物，其最好的 γ 值为

1.6±0.2；当航空景物反差很大时 γ 值可降低至1.2；航空景物反差很小时，其 γ 值应升高到2—2.2。用感光测定法确定显影时间的具体方法是这样：先在原来的航攝軟片上剪下未曝光部分，作感光测定試驗，試驗时所采用的葯方和显影液溫度应与将来冲洗整卷軟片时相同。按第四章所述的实验方法进行，繪出 $\gamma=f(t_{\text{显影}})$ 曲綫，从此曲綫上求出其相应于預定 γ 值的显影时间。此显影时间不是显影航攝軟片的显影时间，它只适合于單張軟片在盆中的显影时间，因此还必须考虑如下二个問題：首先是要考虑到正式冲洗航攝軟片，是整卷（60米）进行的，由于軟片長度很长，其显影时间必须适当的增加，这可以根据苏联学者B.Я.米哈依洛夫所设计的圖表（圖8-5）来求得在迴轉显影器中显影整卷航攝軟片的显影时间。該圖表横坐标表示航攝軟片的長度（以米为單位），縱坐标表示对应的显影时间，曲綫由多次实验求得，它分别表示葯方在某一溫度下的显影时间和軟片長度关系曲綫。设计該圖表是根据正常曝光后的軟片（即試片）在盆中显影8分鐘所设计的，例如对于契皮索夫显影液（ЧИБ），当溫度为20°C，航攝軟片長度为46米时，其显影时间为27分鐘；其次应该考虑到使用迴轉显影器显影所得的 γ 值要比盆中显影时间 γ 小30%。

在沒有感光計設備的情況下显影时间是根据标准样片試驗确定的。試驗方法是这样：在已曝光的航攝軟片一端（空中攝影时，在每卷軟片头上都額外的攝有这样的試驗片）剪下一塊，浸入減感溶液中2—3分鐘，然后用以后拟用来正式显影的显影液进行

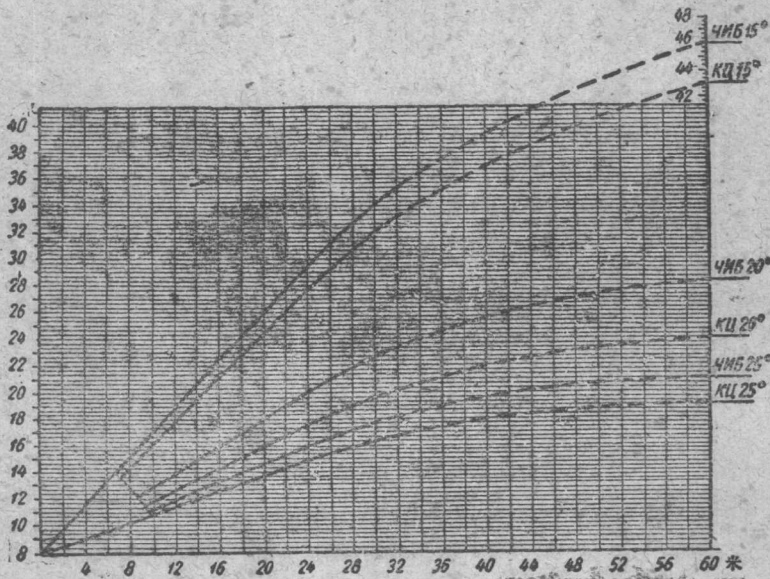


圖 8-5. 米哈依洛夫圖表

显影，約显影2—3分鐘时，即可打开安全灯来檢查显影程度，直至人眼看到陰暗部分的影紋已完全显出，黑度与反差已符合标准比样后，記下显影时间，用显影时间来判断此軟片是否曝光正常。例如，正常曝光的軟片在标准溫度下应该显影8分鐘，則試片显

影如果多于 8 分鐘，說明曝光不足，少于 8 分鐘，說明曝光過度。曝光不足或者過度很厉害時，則應採取有效措施（具體操作詳見藥方），不能用增加或減少顯影時間的方法來改正。用顯影時間的增加或減少的方法來改正曝光不正確，只能在誤差不大時可以這樣做，否則效果不好。其改正值可根據得出的實際顯影時間與標準顯影時間（8 分鐘）的比值來決定。例如假定在試驗時其顯影時間為 7.2 分鐘（這說明曝光過度一些），顯影液是契皮索夫顯影液，溫度為 25°C，航攝軟片長度為 50 米，則按圖（8-5）（按盆中顯影 8 分鐘所設計的圖表）查得相應的顯影時間為 21 分鐘，現在由於曝光過度需加改正數為 $\frac{7.2}{8}$ ，故改正後的顯影時間應為 $21 \times \frac{7.2}{8} = 18.9$ 分鐘。

對於經驗豐富的沖洗員來說，顯影時間的確定，可直接在沖洗過程中用目視法，根據經驗來確定（見下節）。至於曝光過度或不足的顯影法將在下面敘述。

（二）溫度不正常的顯影

溫度不正常可能有二種情況：一種是比標準溫度高，稱為高溫顯影，一種是比標準溫度低的低溫顯影，這兩種情況都應分別對待，現將此二種不同條件的顯影方法分述如下：

1. 低溫顯影法

a. 用熱水加溫

這種方法比較容易做到，即以大容器盛熱水，小容器盛顯影液，然後將小容器放入大容器內，保持一定溫度。有條件時可用電爐或其他加溫設備，不過這時要注意到由於電爐或其他加溫設備在使用時發出的光會使負片感光，因此有時只能加到一定溫度後將電爐關閉，然後再進行顯影。假如天氣很冷時，則藥液的溫度又會很快的降低下去，這一點是應該考慮到的。又顯影液加溫後，定影液及水都要求其溫度不要與顯影液相差太懸殊，因為相差太大會使負片因伸縮性大影響其質量。

6. 在每一升的顯影液中加入 40% 的氫氧化鉀溶液，或者是 30% 的氫氧化鈉溶液 20cc，縮短顯影時間。

2. 高溫顯影法

a. 降溫法

利用冰或者井水來降低溫度，這種降溫方法比較簡單，只是用冰塊降溫，由於冰的來源不易，野外攝影處理較難做到。

用冰來降溫，有二種方法，一種是在顯影液內加入清潔的冰塊，一種是加入水中，用冰水包圍顯影器。

在溶液中加入清潔的冰塊，可使溫度降低至所需要的溫度為止。用這種方法降溫應考慮到，由於加入冰塊沖淡了顯影液的濃度，因此配藥時應該按每 12.5 克的冰能將一公升溶液降低 1°C 的原則來減少水的份量。

用另一種加冰降溫的方法是，將大容器放冰及冰水，而顯影器或顯影盆放顯影液，後者放在大容器的冰水中降溫。如這時顯影液的溫度降低得太多，則可在冰水中加熱水。

用冰冷的井水降溫時，其法與冰水降溫相同。如直接用井水配藥，則應考慮井水之

硬度是否合乎要求。

6. 用坚膜方法

假如溫度不超过 29°C 时，显影还可米吐尔-几奴尼显影液，但定影液应采用坚膜定影液以防止药膜出现针孔。若溫度在 29°C 至 35°C 之間时，应采用高溫显影液与酸性坚膜定影液。高溫显影液其濃度应该很大且溴化鉀很少或者不加，以便縮短显影時間。显影剂可采用还原能力最强的阿米多尔（如仍然用米吐尔几奴尼，則須酌加抑制剂）。此外，高溫显影液应多加亞硫酸鈉，减少明膠的吸水性，防止膠膜过度膨脹（高溫显影液药方見附录）。假如溫度超过 35°C 时，定影液可加入福尔馬林。

高溫显影时，要求动作快，尤其在每次水洗过程中，应尽量縮短時間，尽量避免用手直接接触感光層使药膜受伤。

(三) 曝光不正常的显影方法 (药方見附录)

1. 曝光不足的显影方法

曝光稍为不足的軟片可以用显影方法补救，但在显影过程中应尽量使曝光不足的陰暗部分获得最多的影紋。为此必須將显影時間延長，但是当形成朦翳比許可的朦翳大时，就应停止显影。显影液內应尽量少加溴化鉀或者完全不加，因为抑制剂会阻碍曝光較弱部分显出。此外必須减少显影剂的濃度，因为用一般的濃度时，曝光正常的部分显出，但曝光不足部分却来不及显出。曝光不足的显影，最好采用純米吐尔的显影液，这种显影剂能有力的使受光少的部分显出，并且它与少量溴化鉀在一起所起的显影作用，比几奴尼显影液朦翳少。当負片曝光过于不足，則显影时最好用苛性鹼，并將显影液加溫。

一般曝光不足的情况如小于正常曝光的四分之一时，則很难得到补救的办法，就是进行补救也很难得到好的效果。

2. 曝光过度的显影方法

处理曝光过度的負片比曝光不足的容易些，得出的成果也比較好些，曝光过度 4—6 倍的負片，經過补救后，还可以得到較好的效果。

曝光过度的負片，显影方法与曝光不足时相反。适合于曝光过度的显影液是多加溴化鉀，用几奴尼，减少鹼的含量，降低显影液的溫度等办法来达成。在野外的条件下，要求尽可能使用更簡單的办法，即不改变药液的成分、含量、溫度，而用縮短显影時間的方法或者采用部分失效的显影液来显影。

用縮短显影時間的方法，要注意到，显影時間減得太多，会使反差显著减小，一般不能减少 50%。在部分失效的显影液內显影的方法，是这种显影液溴化物含量較多，鹼的含量較少，故可用它来显影曝光过度的負片。

在新鲜显影液內加大量的溴化鉀（20—25 克/升），使显出影像的速度减低，也可补救曝光过度的缺陷，若再加，其效果不大。

用純几奴尼的显影液，对曝光过度的負片显影，也可得到好的效果。若將几奴尼显影液与适量的溴化鉀相配合，則可补救曝光过度 8—12 倍的負片。

無論曝光过度或者不足的負片，虽然經過显影后可以补救，甚至可以得到好的效

果，但應該說，這些負片的反差值或多或少的會降低。這對航攝負片顯影是很不利的，因此要求在攝影的過程中，應盡量正確的確定曝光時間。一般在秋季的航空攝影中是比較容易產生曝光不足的。

根據處理的難易來看，寧可曝光過度些，不要曝光不足。

顯影液的補充使用。由於顯影液內各成分的消耗，顯影速度會逐漸降低。一般在普通顯影液內，顯影速度的降低，可用增大顯影時間的方法補救到一定的程度，但是超過一定時間後，這種方法不適用，必須在溶液內加入新鮮的補充液，使得顯影液中主要的成分保持到原來的，或比其更高的濃度。由於在顯影過程中顯影液內會產生溴化物，因此在補充液中不需要加入溴化物。在計算加入補充液的容積以及計算其中各原劑的濃度時，不僅需要估計到，在顯影中各種藥液的消耗量，而且要估計到軟片由顯影槽內所帶走的各種藥劑的消耗量，後一個消耗量相當大，寬為19厘米、長為30米的一卷軟片要消耗2—2.5升顯影液。補充液中各種藥劑的濃度必須適當估計，以使顯影液的感光特性保持不變。通常補充液中各種藥劑的濃度要比主要顯影液中的濃度大到1.5—2倍，補充顯影液中不需要加溴化鉀。

在迴轉顯影器上顯影時，不是馬上將軟片浸到顯影槽中，應預先將其浸於水中或者減感劑溶液中。此時雖然被軟片帶去同樣容量的顯影液（30米的軟片消耗2—2.5升），但是槽內溶液的總容量卻減少得很少，大約只有0.5升。在這種情況下需要在槽內倒出1.5—2升的溶液，並注入相同數量的新鮮補充液。這樣雖然能使顯影能力恢復並且可以使用很久，但是顯影液內不斷累積的氧化物沉澱在槽壁和槽底，或浮在液體的表面上，此時如果加入不含溴化物的補充液不能完全補償溴化物的累積，則溴化物的濃度可能會增大。

假如溶液使用很久後，仍然想繼續使用，則其內部累積的膠狀的金屬銀會不斷的沉澱在容器壁上，形成一層很薄的渣滓，同時由軟片來的髒物（如乳劑及軟片的細塊）也會累積在顯影液內，因此顯影液需要定期的清濾，延長使用期限。存放顯影液的條件也很重要，特別是要防止顯影液與空氣接觸。

§ 8-6 航攝負片在顯影以後的各種處理

間隔水洗。在顯影與定影之間的間隔水洗是必要的步驟，因為它可以起下列作用：

- a. 防止普遍和局部的形成顏色朦朧；
6. 可增加定影液的使用程度。

如果在正常溫度下進行顯影，而且軟片的乳劑堅膜性亦正常時，那末可以將顯影儀器直接放在清水槽內，使軟片來回繞卷5—6次後，就可放入定影液中去定影。水洗用的水必須使用新鮮的，同時不能在同一水中洗若干卷航攝負片。

若在高溫情況下進行顯影，則應採用間隔堅膜溶液，其成分如下：

鉻矾.....15克

醋酸(30%).....20 毫升
水.....1 升

显影以后，把航攝負片浸在此溶液中，并以一般速度繞卷，約經十分鐘之久，便可將負片进行定影。但必須注意，当坚膜液的颜色改变时，該溶液就不能再使用了。

定影。只有水洗过的軟片才能进行定影，定影可在定影液槽內用軟片来回繞卷的方法进行。在正常的新鮮定影液中，軟片定影到透明所需的时间应该是十分鐘，此后在定影液中再繞卷一倍时间。如果定影到透明需20—25分鐘之久，則必須更換新鮮的定影液。这不仅是由于它工作效率緩慢而需要更換，而且在此定影液中定影，負片上会得到难以水洗掉的定影产物。同时定影液在長期使用下会变成混濁液，混濁的定影液就不能再使用。因为其中的浮离物会附着到乳剂層上去。

为了提高定影液的使用效率，可以采用兩槽定影液的連續定影方法。在第一槽內盛旧的定影液，軟片首先放在这种定影液內定影，直到負片上的乳白色不再減退时为止，然后将軟片取出放入盛有新鮮定影液的第二槽內繼續定影到終了。当第一槽定影液已非常失效时，則送交处理，并将第二槽定影液代替。同时再另配一槽新鮮的定影液放在原来第二槽的位置上。在一槽 20 升定影液內定影的航攝負片不能長于 60 米。但在利用兩槽定影液連續定影的方法时，可使其使用效率提高 3 倍，而且能改善定影和水洗的質量。

水洗。定影好的航攝負片应该进行很好的水洗。航攝負片通常是在不流动的水中水洗，此时去掉硫代硫酸鹽和其他鹽类的速度在开始时很大，而后逐渐減少，甚至于当乳剂層与水內的鹽类濃度相等时，該速度会減至零。因此为了避免这种情况發生，需要將軟片由一槽放到另一个盛有清水的槽中去。开始时每隔五分鐘換一次清水槽，以后則每隔十分鐘換一次，共需換五次。每次將負片来回轉卷。

如果配制溶液用的水太硬，則在負片上会形成鈣网，鈣网会增大影像的顆粒性。要消除这种鈣网，可在最后一次水洗槽中加入少量鹽酸（每升中加 25 毫升）或醋酸（每升中加 20 毫升）。此时为了減少軟片在干燥后的变形，可在水洗以后，將軟片在 30% 甘油溶液中浸潤 10 分鐘。

負片水洗的好坏程度，可以用下列方法来檢查，它是以过錳酸鉀的紫色溶液受硫代硫酸鈉作用而变色为根据。利用該方法，可以發現 100 000 份水中存在一份的硫代硫酸鹽。其实施步驟如下，先按下列葯方配制备用溶液。

过錳酸鉀..... 0.3 克
苛性鈉..... 0.6 克
蒸餾水..... 加到 250 毫升

試驗时，先在杯子里倒 250 毫升的蒸餾水，再加入 1 毫升的备用溶液。然后由水洗槽中取出負片，先讓它流掉一些水，当水由負片上流下成稀水滴时，就把它滴在盛有高錳酸鉀溶液的杯子里（滴水時間約 30 秒）当負片上所殘留的硫代硫酸鹽数量不多时，則在紫色溶液約經 30 秒后变成橙黃色，如果所含硫代硫酸鹽濃度还很大时，則溶液的橙黃

色又会变成黄色。最好，航攝負片要水洗至不使檢查溶液的顏色改变，最低限度只允許变成橙黄色，如轉变到黄色是不允許的。

干燥。航攝軟片干燥的最好条件为：空气的溫度 20°C — 25°C 时，相对湿度为50—80%，而且空气要流通得很好。

除了外部条件以外，乳剂層的厚度和状态对干燥的速度还起着很大的影响，膨脹得很厉害的乳剂層干燥得較慢些。坚膜的乳剂層，由于水洗时膨脹得較小，所以它干燥得較快。航攝負片干燥的方法是相当复杂的，直到現在还没有一种干燥器能完全滿足作業的所有要求。

航攝負片在鼓輪上的干燥法应用很广。鼓形干燥器为由許多木杆構成長形多面体（如圖8-6），其尺寸由需要干燥的負片的大小来决定，鼓輪固定在軸上，它可以用手搖或馬达来帶动旋轉，圖8-6为鼓形干燥器，可供寬19厘米長30米的負片干燥之用。在空气的湿度正常，且溫度为 16° — 20°C 的情况下，一般干燥的时间約为1小时，經過这一小时以后，負片的長度（30米）会縮短得相当厉害（通常縮短10—15厘米，而且有时縮短30—50厘米）。因为它在鼓輪上拉得很紧，而且会發生形变。为了减少形变，必須根据干燥的情况重新拉卷負片。

鼓形干燥器广泛采用的原因是由于構造簡單，即使在極坏的設備条件下，亦可以架設起来。其主要的缺点：1)笨重；2)干燥要受大气条件很大的影响；3)必須要留心观察負片的拉紧情形。

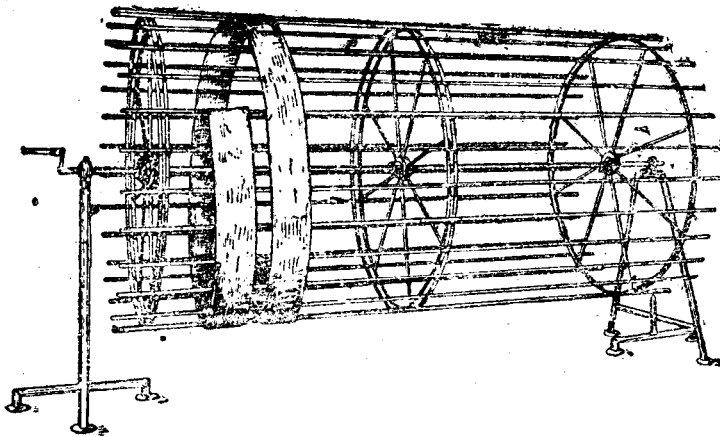


圖 8-6 鼓形干燥器。

軟片用的小型鼓形干燥器具有各种不同的構造，圖8-7表示軟片快速干燥器略圖，航攝負片由干燥器外部的軟片軸上逐漸的轉卷到干燥器內部的軟片軸上，轉卷时乳剂層要向上。由外軸轉卷至內軸的軟片，通过木軸而形成一個多紋的螺旋。在螺紋之間，可利用通風器吹入强烈的气流，而使負片干燥。这种干燥器的效率比鼓形干燥器要稍許高一些。

近来广泛地采用特种的鼓形干燥器，其鼓轮不动而且很小，鼓轮宽度与软片宽度相同。在它的周围有许多小缝隙，滤过的热空气很有力的吹入这些小缝内（图8-8），在鼓轮的周围离开鼓轮为若干距离的地方，装放木轴，利用马达可使软片沿着鼓轮延伸，并利用由马达发出的空气使其靠紧于木轴上，软片移动的速度每分钟可在0.3—1.5米的范围内变动，并且经过这些时间以后，它就可以完全干燥，虽然这样小型干燥器效率很高，可是它却需要消耗相当多的能量。

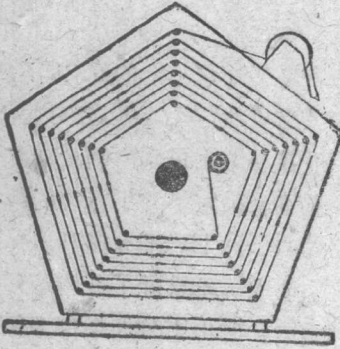


圖 8-7. 螺旋形干燥器

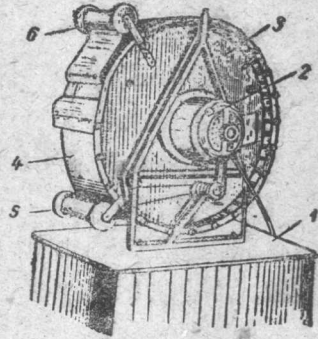


圖 8-8. 縫隙干燥器

§ 8.7 航攝負片質量的評定

負片在干燥以后，必須評定它的質量，以审查摄影和摄影处理工作是否正常。一般攝影的負片，其質量可用肉眼目視評定，但在科学和技术攝影中，負片的質量須应用客观的和精密的方法来測定。

負片根据曝光和显影的正常与否，可产生下列九种情况：

- | | | |
|-------|---|-------------|
| 曝光不足的 | { | 1. (显影不足的)； |
| | | 2. 显影正常的； |
| | | 3. 显影过度的。 |
| 曝光正常的 | { | 4. 显影不足的； |
| | | 5. 显影正常的； |
| | | 6. 显影过度的。 |
| 曝光过度的 | { | 7. 显影不足的； |
| | | 8. 显影正常的； |
| | | 9. (显影过度的)。 |

上面几种情况中曝光和显影都很正常的負片是最理想的負片，除此以外，都或多或少存在一些缺点。显影过度的負片特点是反差大而且朦朧增高。显影不足的負片上沒有朦朧；除第七种外其影像的黑度小，而且陰暗部分很透明，根据显影不足的程度，在陰暗部分上會沒有影紋或只現出很淡的影紋。曝光不足負片的特点是透明度大和陰暗部分

很难看出影纹或者是完全没有影纹，而曝光过度的负片与此相反，它的黑度很大，甚至于在一般条件下透光观察时，还是完全不透明。有括弧的两种极端情况一般是不会遇到的。由于目视评定负片质量不是随时都可以评得相当正确的，因此，在选择改善负片的方法和确定负片质量不佳的原因时，可能会产生错误。

到目前为止，我国航摄队对航摄负片的质量，还是用肉眼来判定，这是不够精确的。

对航摄负片质量的评定，必须要从它对摄影测量作业价值的观点出发，因此，其摄影性能必须要符合使用要求，最好它能具有某些最适宜的性能，即大致中等的性能，并保证在各种场合中全面使用负片的可能性。

每张航摄负片的适用程度都取决于航空摄影工作和摄影处理工作的好坏，因此，在评定负片质量时，必须要将这两方面区别开来，以便找出负片质量不佳的原因。

已曝光的软片之摄影处理必须适当，以便保证能最容易的和正确的判读各部分。客观的评定航摄负片的摄影质量，可由感光测定的几项数值来决定。为了客观的评定负片的质量，必须在显影过程中作适当的控制。由于在野外的条件下，不可能利用标准的感光测定装置。为了适用于野外条件，苏联中央测绘科学研究所曾设计了一套野外感光测定装备——野外感光计和黑度计。图8-9即为野外感光计，它由下列几个部分组成：在箱子1内装光源2。此光源通过仪器的可相对移动的部分3和4而到达暗匣部分5，暗匣5内装有光学楔板。在部分4以下的6内装有可以调节电压(220—12伏特)的变压器。

该仪器的光源可以采用下列几种普通光源：1)普通适用于120伏特电压的25瓦电灯，2)普通适用于220伏特电压的25瓦电灯，3)12伏特低压电灯。

航摄软片在此仪器上曝光，应当使曝光时间在15—20秒钟范围内。为了减少误差，可以利用秒表读数。由于航摄软片感光度很高，很难利用上述光源在规定的曝光时间内曝光。因此在光源前面，必须放一个中等黑度的滤光片以减弱光强。

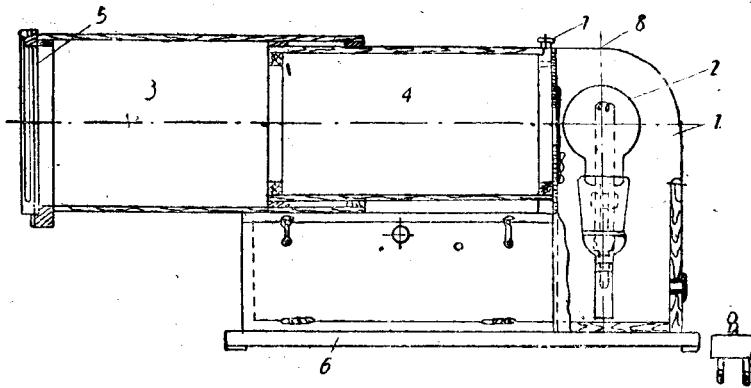


图 8-9. 野外感光计

航摄负片的感光测定评定工作，应当在显影过程中就开始。其方法是这样：在准备冲洗的航摄软片上，剪下一块未曝光的部分（一般总有多余的未曝光部分），放在野外感光计上曝光，次将这曝光的一小块软片与空中曝光的软片一起显影。然后在黑度计

(圖8-10)上量測黑度。黑度計的結構是這樣：光源1通過乳白玻璃，一方面照射在被量測的黑度 D_x 上，另一方面亦通過乳白玻璃照射在楔板2上，在目鏡3的下方有一立方體4，在它的對角線平面上塗銀，并於該面的中心處開一小孔，這樣就可以將要量測的黑度與楔板上相應部分的已知黑度作比較。

這樣量得黑度以後，畫出特性曲線，然後在幾幅航攝負片上量出最大黑度和最小黑度以及朦朧，并將這些數值標記在特性曲線上。如圖8-11所示的圖解。根據所得的數值，對航攝負片的攝影質量就可以作出客觀的結論。應該確定的性能如下：

γ 值

負片的最小黑度 $D_{\text{最小}}$

最小黑度與朦朧之差 $D_{\text{最小}} - D_0$ 。

負片的最大黑度 $D_{\text{最大}}$

負片的黑度差 $\Delta D = D_{\text{最大}} - D_{\text{最小}}$

負片的平均黑度 $D_{\text{平均}} = \frac{D_{\text{最大}} + D_{\text{最小}}}{2}$

大家都知道，負片的黑度差 ΔD 是取決於 γ 值和 U 值（焦面上影像的亮度差）。良好負片的 $\gamma = 1.6 \pm 0.2$ ，但在物體反差很大的情況下，由於“ U ”很大，可使 γ 值適當的降低，以便使 ΔD 保持在0.6—0.9的範圍內。

由於濃黑的負片，對攝影測量的作業很困難，所以負片的最大黑度值（ $D_{\text{最大}}$ ）不應該很大，而應該在1.2—1.6範圍以內。假如 $D_{\text{最大}}$ 值很大，那就說明曝光過度得很厲害，而在顯影中又沒有加以補救，或者是顯影過度。顯影過度的特點是朦朧值增高。顯影正常的負片，其朦朧值不應超過0.3。

使負片的最低黑度大於朦朧的黑度，這是很重要的一個問題，否則在陰暗部分就表示不出影紋， $D_{\text{最小}}$ 必須比朦朧大0.2以上。

負片的平均黑度為一個很特別的數值，最好的負片其平均黑度為0.7—1.0（平均值為0.85）；因此，在航攝中應該要適當的計算曝光量，以求得負片的平均黑度在上述的範圍之內。

上述的表示良好負片的數據是用統計方法求得的，並且是在大量負片研究中所求出的平均值。但實際上，因航空景物的不同特性，可能與這些數字有某些區別。

表示負片質量最好的數值，只有在顯影與曝光都是正常的條件下方能取得；若分析圖8-11的特性曲線，就不難發現其錯誤。假如 γ 值很小，比最好值小得多，那就說明了顯影過程中有偏差。例如，顯影時間太短，溫度低，顯影液的配制不正確等，結果顯影不足，致使最小黑度和中等黑度都很小。相反的，若 γ 為最好的數值，而負片透明，并

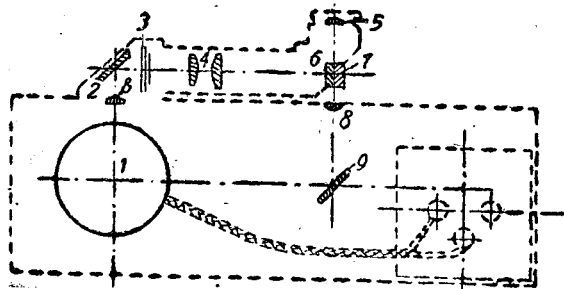


圖 8-10. 野外黑度計略圖

1—光源；2—光學楔板；3—目鏡；4—對角線平面上塗銀的立方體

且最小的黑度与朦胧相等，那就说明空中摄影曝光不足的现象。

如果 γ 值标准时，负片的黑度很大，那就说明曝光过度了（即已经使用到特性曲线顶端部分）。

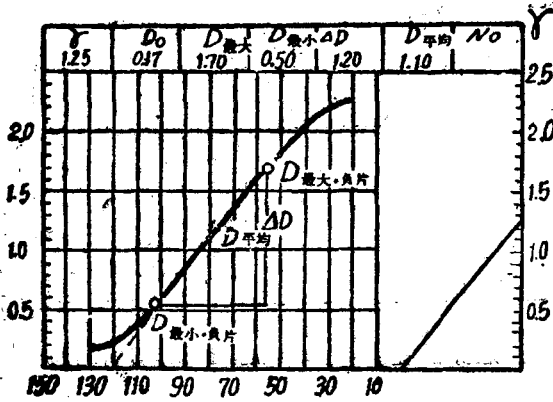


图 8-11. 野外感光测定图解

根据许多判读者对负片分析研究证明，光学黑度与特性曲线直线部分的下面部分相适应的负片，最容易判读，若负片的黑度较大，则对判读就比较困难。因此在空中摄影时，就必须正确的确定曝光量，否则就不能使用特性曲线的全部直线部分。因为当曝光时间很大时，散射光的影响相应增大，而负片黑度差就降低了，甚至曝光时间安置在直线部分的曝光量范围以内时，亦有这种影响。

曝光过度不仅对影像反差起不良的影响，同时还会使显出影像的物理特性变坏，如散射光量影响增大以及分解力的减少。在浓黑的负片上，某些微细的影纹可能分辨不出，透明的细小影纹可能被相邻的浓黑部分所掩盖，因此细线的宽度可能与影像的总比例尺相适应。

§ 8.8 航空摄影队内的复制过程

航摄像片锁链图的复照是为了便于航空摄影员在飞行面积内寻找航摄漏洞和野外地形测量工作之用。

锁链图的复照，一般采用像幅为 13×18 厘米—24×30 厘米的木架摄影机。由于复照时，不可能一次摄完而必须从一幅锁链图分摄成几张比例尺相同的负片，因此普通的三脚架不适用了，而需要采用特殊的座架（图 8-12）。摄影机安装在座架的平台上并用一般的底脚螺旋固定之。安装摄影机的平台可以在座架内上下移动。为了沿着布置锁链图的图板迁移。整个座架可平行于图板左右移动。

锁链图复照所采用的底片，由于要求不高一般是生产飞行所剩余的零头航摄软片，或者是使用期限已满的航摄软片。当使用木架摄影机的普通暗匣时，

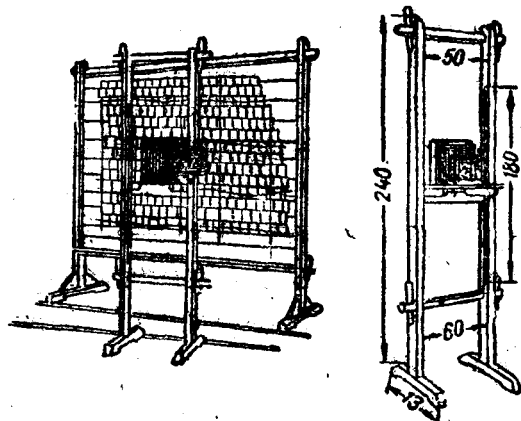


图 8-12. 航摄像片锁链图复照装置

为了不使軟片有弯曲現象，需要將軟片夾于玻璃和暗匣板之間。但須注意，这时航攝軟片的乳劑層不落在焦点平面內。因此在对光时，須將毛玻璃的毛面向外。

配置鑲輯圖板时，必須使其攝影部分的光照均匀而沒有耀光現象。当圖板和攝影裝置很靠近时，曝光時間不应中断，以避免其振动而影响負片的清晰。曝光時間的多少用攝影試驗方法决定。使用的显影液应根据鑲輯圖的接触晒印像片的反差和复照所使用的航攝軟片反差来选择。为了尽可能用目視檢查方法控制显影过程，在显影之前，將已曝光的軟片浸入減感溶液处理。定影、水洗、干燥則按一般攝影处理規則进行。正片过程亦是按照一般接触晒像方法进行。

第三部分 航测摄影室作业过程

航测摄影室要进行各种摄影工作。其产品要供给其他各个作业室使用，在大多数的情况下，摄影室的产品是供编制出版的地形图和平面图之用。因此产品的质量以及产品的及时发出，直接影响到整个航测作业队的工作能否顺利开展，故摄影室为航空摄影测量作业中极其重要的一环。

摄影室的工作一般为：

- a. 复照工作；
- b. 制造复制用的感光材料；
- c. 接触晒象；
- d. 投影晒象；
- e. 生产过程的检查。

此外，尚有一些辅助工作，如象纸的裱糊工作等。

第九章 复照过程

§ 9.1 复照原圖的分类

用攝影方法使各种地圖：像片原圖、地形圖以及其他平面圖变成一定比例尺的复制品称为复照。

复照原圖可以分为下列几种

1. 綫划原圖：是在白紙或有顏色的紙上繪有色調濃度处处相等而沒有中間色調的綫条圖。如單色地圖、書本、墨綫地形圖以及鋼笔画等。
2. 半色調原圖：这种原圖是由黑的、白的、深灰、淺灰等等色調組成。如像片等。
3. 多色綫划原圖和多色半色調原圖。如多色地圖和画片。
4. 透明原圖。如透明正片和透明紙上之圖形。

上述原圖，前三种是利用反射光复照，而最后一种是靠透过原圖的光照进行复照。

§ 9.2 复照仪及其附屬裝置

原圖复照需采用特殊的攝影机，即所謂复照仪。复照仪的类型很多，要选用那一种的复照仪，則需依据复照的目的和需要复制品的最大像幅而定。复照可分成精密的和普通的两种，在普通复照时主要是着重在复照仪的作業率上，而精度是次要的。在精密复照时，則复照仪的作業精度起着主要的作用。通常，作業精度高的复照仪，其作業率較低。

精密复照仪的主要要求是：結構坚固，以便保証各种零件很少磨損，这是取得精确复制品所必需的条件。

圖 9-1 是最簡單的小型复照仪。

像幅为 30×30 厘米。在坚固的木座架 1 的緩冲裝置 2 上，有一金屬框架 3，在該金屬框架上，裝有光屏板 4 和攝影机方向導軌 5，在所有的作業精度良好的复照仪上，都必須有緩冲器和联結光屏板与攝影机的总鉄框架，因为緩冲器是消除地板振动影响所必需的裝置，而攝影机与光屏板兩者的联結也是为保証整个仪器系統牢固所必需的。金屬滑动架 6 可沿方向導軌 5 移动，在該滑动架上放有攝影

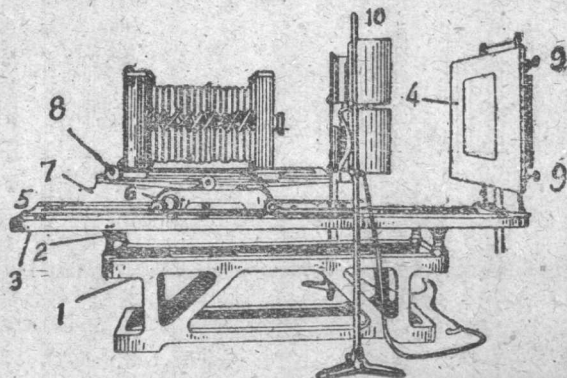


圖 9-1. 小型复照仪

1—座架；2—緩冲器；3—金屬框架；4—光屏板；5—攝影机的方向導軌；6—金屬滑动架；7—手柄；8—齒条；9—圖板的螺旋；10—照明器

机，該攝影机的暗匣部分皆可分別利用手柄7和齿条8移动之。光屏板靠在四个螺旋9上，利用这四个螺旋，可使光屏板上的任一角很容易的靠近或离开攝影机。光屏板可采用普通的或水銀灯照明，而照明器应放在架子10内。

其他一些复照仪，虽然其像幅很大，而且構造也很复杂。但是在原理上却与上述这种复照仪很少差别。复照仪通常有架設在地板上的（为最常遇到的一类）和悬挂式的（安置在天花板的梁上或特别的架子上）以及兩室式的三种。

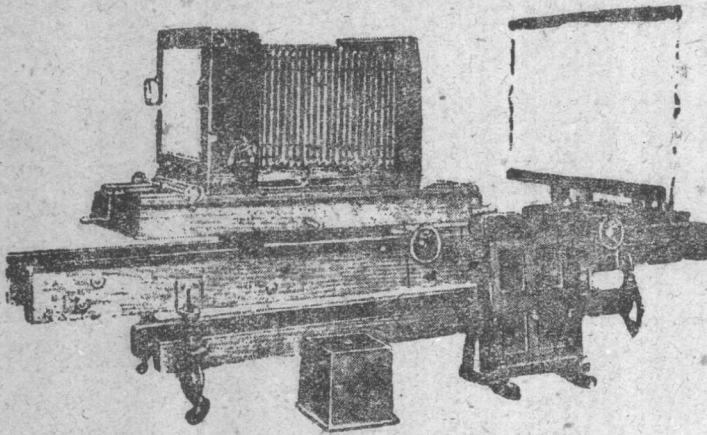


圖 9-2. 木制复照仪

圖9-2是一种使用最普通的复照仪，結構基本上与上述小型复照仪相同。此类复照仪的像幅一般从40×40厘米到60×60厘米。

圖9-3是复照大幅原圖的复照仪，其像幅最大可达125×125厘米。

此类大型复照仪，一般都是属于精密的，

它的結構比較复杂。新型的大型复照仪具有抽气式光屏板和自动操縱設備。

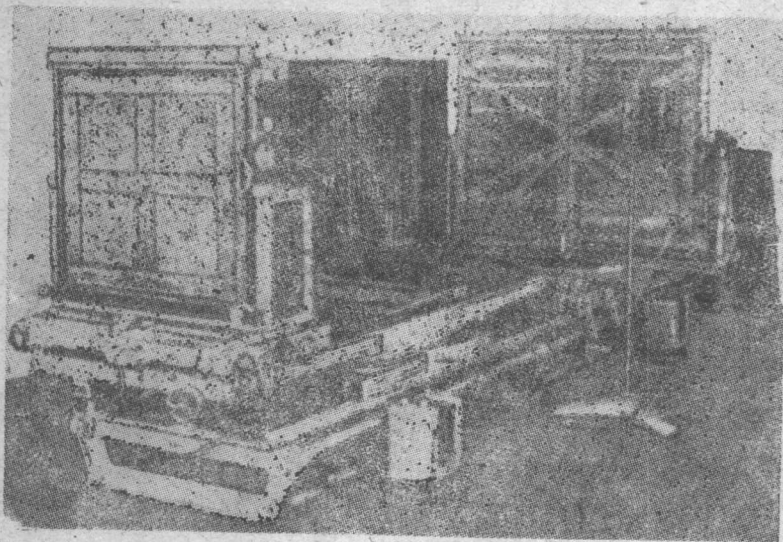


圖 9-3. ФГ-3大型复照仪

圖9-4表示兩室式的复照仪，它是由一个装有光屏板滑动架的前室和另一个装有毛玻璃或底片滑动架的后室組成。物鏡就裝在二室的間壁上。滑动架可在一个与間壁垂直的总鋼架上滑动。后室内还可制造克洛丁湿片和进行負片的攝影处理。

所有大型复照仪都允许比例尺在 2:1—1:5 的范围内变更，若装上附加物镜，则比例尺的变更范围还可能增大。

另一种使用极其方便且作业率非常高的垂直式复照仪如图 9-5 所示。其像幅不超过 40×40 厘米，镜箱是垂直的，占据的面积很小。它的暗匣与光屏板由横杆联系着，可以自动调节焦距，也就是不论原图处在什么位置，毛玻璃上的影像总是可以清晰的。所以这样结构，可以大大的提高复照工作的作业率。

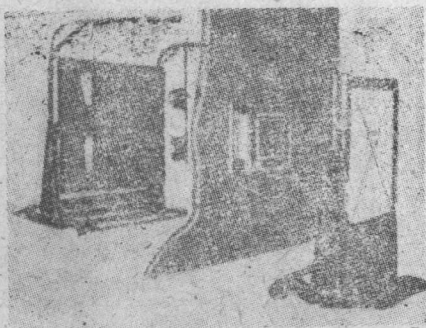


图 9-4. 二室复照仪

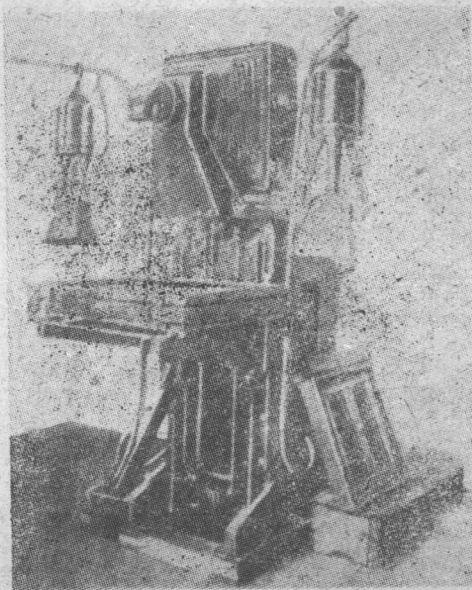


图 9-5. 垂直式复照仪

复照仪上的物镜都必须十分优良，各种构像误差应该消除到尽可能小的程度。正光的复灰色物镜能满足这个要求。复照物镜在透光力方面要求不高，最大相对孔径 1:9 就完全足够了。一般复照只是用 1:16 甚至更小的相对孔径，因为采用小的相对孔径还可以使物镜的各种像差再度缩小。由于复照的曝光时间通常很长，所以物镜内不设快门。物镜的视角不应超过 40°—50°，因为较大的视角会使像场边缘的照度显著的降低。表 9-1 为各种复照物镜的特性。

几乎在所有的复照物镜上，都可以加装反转影像用的稜镜或平面镜，因为不经反转的影像对于某些印刷和复印过程是不适用的。影像的反转情况表示于图 (9-6)。稜镜比平面镜应用得较少，因为稜镜重而贵，并且要吸收很多光线。复照仪上使用的平面镜是由金属或玻璃在它表面涂上一层银而成的，但是这银层的稳定性很差，故使用起来不十分可靠。

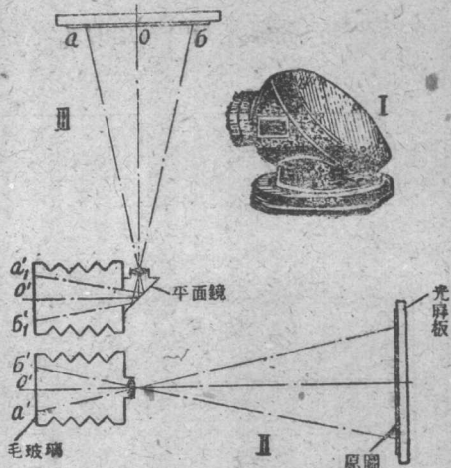


图 9-6. 影像的反转

I—转像平面镜 II—没有反转的摄影 III—反转摄影

复照物鏡的特性

表 9-1

物 鏡 名 称	焦 距 (厘 米)	相 对 孔 徑	像 幅 (厘 米)
英 杜 斯 塔 尔-11 (苏 联)	30	1:9	50×50
	45	1:9	70×70
	60	1:9	90×90
	90	1:9	130×130
	120	1:9	170×170
复 灭 色 天 塞 (蔡 司)	30	1:9	30×40
	45	1:9	45×60
	60	1:9	60×80
	75	1:9	75×100
	80	1:9	70×120
	120	1:9	120×150
复 灭 色 潑 蘭 娜 (蔡 司)	41.7	1:7.5	35×45
	59	1:9	45×60
	80	1:10	65×75
	105	1:10	75×85
	130	1:12.5	90×100
	170	1:12.5	120×150

§ 9.3 光源和感光材料的选择

复照并不是單采用一种感色性的感光材料，而是在各种不同感色性的材料上进行。因此选择合适的光源对曝光时间的長短影响很大，同时直接影响到作業效率。光源可分成很多种，今將复照中常用的几种光源特性列于表 9-2。

表 9-2

光 源	光 譜 帶		
	藍 光	綠 光	紅 光
日 光	33%	33%	33%
水 銀 灯	23%	70%	7%
石 英 水 銀 灯	20%	67%	13%
金 屬 絲 的 电 灯	13%	55%	62%
弧 光 灯	22%	30%	48%

光源的选择系取决于原圖的特征和感光材料的种类。

若用克洛丁湿板或未增感底片来复照黑白原圖，則以使用富有藍光的光源为宜，例如采用弧光灯和水銀灯。光源对某种感光材料的光化能力会影响曝光时间的長短，下面是各种光源对未增感材料的光化能力的对比：

金屬絲的真空灯.....1
 充气灯.....1.5
 弧光灯.....5
 石英水銀灯.....11

因此，在复照黑白原圖时，以利用弧光灯或石英水銀灯来照明为宜，因为这样可以使曝光時間（相对于采用金屬絲的真空灯而言）分別減少 $\frac{1}{6}$ 和 $\frac{1}{4}$ 。在攝照有色原圖时則以采用弧光灯或金屬絲灯为宜。

复照要用各种感光材料。假如要求的黑度很大，則需利用攝影硬片或克洛丁湿板，假如允許与規定的大小稍有出入的話，則可以使用軟片，因为，軟片与硬片不同，在处理过程中多少会發生变形。

根据原圖的特征，复照中可以使用适合复照綫划的感光材料或半色調的感光材料。至于对感色性的要求，則取决于原圖的特点和复照的目的，复照中可以应用各种感色性的感光材料，如未增感的，正色的和全色的。如果是黑白原圖，則采用未增感的，如果有色原圖，則采用增感的。复照中所用的各种感光材料，其反差系数也應該是不同的。复照原本和綫划原圖用的是高反差系数，复照半色調原圖用的是中等反差系数。

在复照用的所有感光材料上必須有一層光澤或無光澤的反光暈層，無光澤的很利于修像工作。

茲將各种复照用的最主要的几种感光材料特性列于表(9-3)。

表 9-3

感光材料的名称和用途	增感程度	感光度 ГОСТ	γ	$D_{最大}$	D_0 (显影4 分鐘)	R (綫 数/毫米)	反光暈層
I. 复照硬片							
供中等反差的半色調原圖复照	—	2.8	1.2—1.6	2.5	0.12	—	—
供低反差的半色調原圖复照	—	2.8	1.7—2.0	2.8	0.12	—	—
供綫划原圖复照(特硬性)	—	2.0	2.4—3.0	3.0	0.10	—	—
供綫划圖复照(超特硬性)	—	1.0	> 3.6	3.0	0.12	—	—
II. 正性硬片							
硬性的		0.5—1.0	1.7—2.0	2.8	0.08	—	—
特硬性		0.18—0.35	2.4—3.0	3.0	0.08	—	—
超特硬性		0.18—0.35	> 3.6	3.0	0.08	—	—
III. 复照軟片							
供中等反差的無色和有色的半色調原圖复照用	未增感片	15—30	1.5—2.0	> 3.0	0.10	100	光澤的 無光澤的
	正色片						
	金色片						
供硬性的無色和有色半色調原圖复照用	未增感片	30—50	1.0—1.3	—	0.15	80	光澤的 無光澤的
	正色片						
	分色片						
供綫划片接触印像用	未增感片	0.2—0.5	> 4.0	> 3.0	0.06	140	光澤的

苏联出品的攝影軟片上都有 «ΦI» 这个符号，在該符号的旁边註有数字，該数字为兩位数字，第一位表示反差的程度，其值近似于反差系数的数值。

- 1——半色调的软片
- 2——线划的中性软片
- 3——线划的硬性软片

数字的第二位表示软片的光学增感程度。

- 0——未增感软片
- 1——分正色软片
- 2——分全色软片

例如：6T、31表示：线划的，硬性的，分正色摄影软片。

由于软片在暗匣内不能放平，故需将其贴在预先涂有粘性物质的玻璃上，曝光后，将软片在玻璃上撕下，并进行处理，而粘性表面可反复使用之，粘性物质可按下列成分配制。

明胶	45克
甘油	80毫升
水	500 毫升

大幅的硬片，一般工厂不制造；因为运输甚为困难，因此需由各企业在使用之前直接自行制造。通常制造的克洛丁湿片，由于它所消耗的银很多，而且在使用这种材料时的劳动生产率也极低，因此近年来克洛丁湿片已逐渐为干片所代替。干片也是由企业部门自制。所有的乳剂可由专门工厂代制。其方法为：将工厂中所制造的乳剂溶解并涂布在一定大小的玻璃上。摄影乳剂也可用实验室方法自己制造。

§9.4 复照技术

(一) 复照原图的准备

航测内业复照原图主要有以下几种：

1. 在白纸上着墨的原图（如略图等）。
2. 裱在硬底上的外业原图；它是着有黑色（居民点和注记），绿色（水系）和棕色（等高线）三种颜色的地图。这地图可能裱在白纸上或者是裱在无光或半光泽象纸的象片平面图上。

3. 镶嵌在硬底上的镶嵌象片平面图，通常它包括有四个图幅。当复照其中一个图幅时，应使它成为包含着所有整饰元素（比例尺、图号、图廓等）的完整象片平面图。因此须照图（9-7）所示布置。在其中的两个边上加绘需要整饰的内容，而另外两个边贴上绘有图廓和其他内容的纸带。

一切复照原图都得按照图廓的理论长度检查图廓的精度。在量测编制好的地图原图的图廓实际数值与图廓应有的理论数据相比较时，其许可差不应超过 0.6 毫米为合格。此外，在复照之前还要检查一下清绘质量。原图的四个图廓点也要加以整饰，先以交叉直线的交点明显地将图廓点标出来，然后以交叉点为圆心画一小圆，在小圆的周围用白、

色顏料襯托。

被复照的綫画原圖應該符合一定的要求。如綫划原圖的紙底應該是白色或微帶淺藍色，因为藍色与白色对于未增感的感光材料的光化作用近似相等，虽然后者是淺藍色，但綫条仍然能清晰显现出。我們不希望綫划圖的綫条表现在其他顏色紙底上，因为这样必須选择适当的濾光片和負片材料，設法將顏色区分开来使复照負片現出清晰綫条，而这些工作將耗費很多時間且使复照技术复杂化，在生产上应尽量避免。我們更不希望原圖的紙底是灰色的，因为即使选择最硬的負片材料亦难以將綫条清晰地表达出来。此外，原圖不应当被折摺，因为这样会使原圖留下痕跡，复照后重現于复照負片上。原圖的綫条亦应在粗細和均匀方面符合要求，其粗細程度应不小于 $0.07n$ (n 为縮小倍数)。

对于半色調原圖底紙之顏色、原圖的光滑性、影像的色調同样应有一定要求；复照的像片平面圖最好用有光像紙，所編的像片平面圖色調应一致。用鉛笔画的原圖是不适宜复照的，因为很难从这种原圖中得到硬性的影像。

(二)原圖的安置

原圖是安置在复照儀的光屏板上。根据光屏板結構的不同，原圖的安置方法亦有不同。如果是木制的光屏板，則原圖可以用圖釘固定之。这方法的缺点是原圖要被刺穿，同时大尺寸的圖幅要安置得很平是有困难的。

为了避免上述的缺点，可以將原圖放在光屏板与玻璃板之間压紧之。紧压原圖的玻璃可以用制動螺絲固定之。这种安置方法，不論大圖或小圖都可以使它放得比較平。但缺点是玻璃介質会产生反光。

比上述更先进的是抽气光屏板，它能使原圖安置得非常之平。原圖放在玻璃与橡皮布之間，当橡皮背面用木板压紧后，便用真空唧筒將玻璃与橡皮布之間的空气抽出，这样原圖就可以压得很平了。

光屏板可用手作橫向推移，也可用手柄螺絲使其在縱向移动。光屏板种类很多，有些复照儀的光屏板可以繞垂直軸或水平軸旋轉，有些还可以借光屏板背面四角上的支承螺絲来調节原圖的位置，使其各边在毛玻璃上的影像符合于要求的尺寸。不論光屏板在哪个方向旋轉，它应当严格的平行于毛玻璃。

放在光屏板上的原圖应使其中心大致的对在物鏡的主光軸上。最好是把原圖倒置，这样可以得出正立影像以便于在毛玻璃上讀註記。

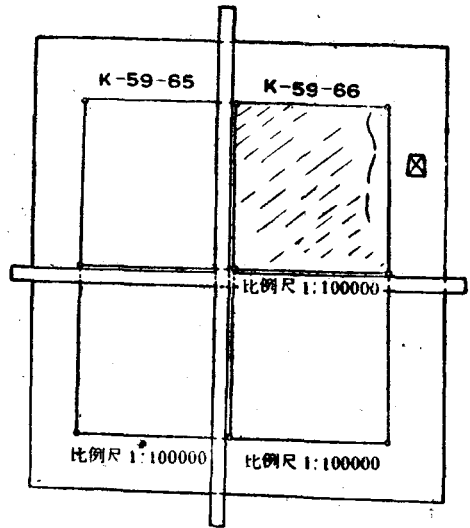


圖 9-7: 对于包含四个圖幅的像片平面复照的整飾

(三)光照的配置和攝影技術

原圖所受的光照必須均勻。其各部分照度之差不應超過10%，照度的量測可以使用照度計。檢查光照是否均勻，可採用簡單而實用的方法，即在原圖的中心豎立（即垂直於原圖），一直尺或鉛筆，觀察各方向上陰影部分的亮度是否相等。因此，為了選擇這樣的照度，照明器應當是偶數（兩個或四個），它們配置在平行於圖板的同一平面上。光源應當對着原圖邊安放，並且使它離原圖的距離等於兩邊光源距離的0.75—0.85倍。

通常多採用四個光源，它們應當配置在對稱於圖板中心的位置上。在某些情況下，常是有效的應用散射光，因此照明器應當具有毛玻璃遮光設備。但這時應考慮由於光被散射器的吸收使照度降低很多。

如果原圖耀光或者放在玻璃下面時，光源應當這樣配置，使得原圖的鏡面反射的光線不投入物鏡。這要在原圖光照傾斜時才能達到。

“對光”和獲得大小合乎需要的影像是復照過程中最麻煩的二個工作，若已知影像的比例尺，則按照下式

$$b = f(1 + \beta)$$

$$a = f\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

預先計算出光屏板和毛玻璃至物鏡間的大概距離 a 和 b ，或者用預先算好的表格（如表 9-4）查出該兩距離。先概略的對光，然後再作精確對光。

根據毛玻璃進行精確對光時，應當注意毛玻璃毛面的位置，通常毛面是對着物鏡放置的。這時要正確量測是很困難的，因為要眼睛瞄得正確，必須使眼睛光軸在量測點上

各種不同比例尺時的物距和像距（單位為米）

表 9-4

焦距數值 (M)	縮小或放大(縮小的例數)比例尺							
	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8
0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
	0.50	0.38	0.33	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28
0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70
	0.60	0.45	0.40	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34
0.35	0.70	1.05	1.40	1.75	2.10	2.45	2.80	3.15
	0.70	0.53	0.47	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39
0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60
	0.80	0.60	0.53	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45
0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05
	0.90	0.68	0.60	0.56	0.54	0.53	0.51	0.51
0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
	1.00	0.75	0.67	0.63	0.60	0.58	0.57	0.56
0.55	1.10	1.65	2.20	2.75	3.30	3.85	4.40	4.95
	1.10	0.83	0.73	0.69	0.66	0.64	0.63	0.62
0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40
	1.20	0.90	0.80	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68

垂直于毛面，否則便將由于折光而产生誤差。比較合理的是使毛面向外放，这样量測是可以方便些，但是这时又因光綫通过玻璃厚度而产生折光差。为了补救这个誤差可以在暗匣中鋪厚度为毛玻璃的 $\frac{1}{2}$ 的襯垫。在一般情况下，只有当感光層表面恰好放在毛玻璃毛面所处的位置时才可得正确尺寸的影像；这两个表面的不重合称为暗匣差，暗匣差应该消除。

通常要求在毛玻璃上量測边長的精度应达到0.2—0.3毫米，假如采用分划为0.5毫米的金屬尺时，其精度則可达0.1毫米，但是，一般为了方便起见，在量測时可以采用卡尺。在复照工作中，都是量測四条边和兩条对角綫。

若原圖圖廓不合理論的尺寸，必須补偿这个差数。利用光屏板四角的支承螺絲就可以达到。这时，光屏板和毛玻璃可能略不平行。圖(9-8)所示的情况表示在毛玻璃上所量測出長度比理論長度大(以正号表示)，消除时应动光屏板右边的下面的螺絲，使光屏板的右下部向后移动，这时 a 、 c 二边縮小，直至各边不符值在0.2—0.3之範圍內。

对光时，为了使焦面上的影像清晰，应当把光圈撥到最大孔径。如果复照时要采用濾光片，最好戴上濾光片对光。假使戴濾光片后使影像很暗，則可用一塊与濾光片同样厚度和同样折射率的無色玻璃代替。对光后，取下毛玻璃，換上裝有感光材料的暗匣，重新調整需要的光圈，換上濾光片，盖好物鏡。曝光前，先打开暗匣，然后再取下物鏡盖使感光材料曝光。

复照时确定曝光時間是非常重要的，因为它关系着負片的質量和劳动生产率。

利用公式(5-17)可以計算空中攝影的曝光時間，現在我們把这公式略加改变，即以一般的感光度 $S_{\text{ГОСТ}}$ 替 $S_z(0.85)$ ，并再考虑加入放大或縮小倍数，便得到适合于計算复照曝光時間的公式：

$$t = \frac{4k^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_n}{S_{\text{ГОСТ}} \cdot E \cdot \gamma \cdot K_u} \quad (9-1)$$

式中 k ——为相对孔径的分母， K_{ϕ} ——为濾光片倍数， K_n ——为放大或縮小倍数， $S_{\text{ГОСТ}}$ ——为以ГОСТ單位的感光材料的感光度， E ——为原圖的照度(用照度計測定的)， γ ——为原圖最暗部分的亮度系数。

对于黑的印刷顏色 $\gamma=0.1$ ，深黑色为0.06，毛面像紙的暗色調部分为0.08，有光像紙的暗色調部分为0.04，黑墨为0.02。

K_u ——为物鏡的透光系数，对于复照物鏡約等于0.5—0.7。

当放大复照时，毛玻璃离物鏡很远，因此毛玻璃面的照度减小，而曝光時間应当加長。在縮小复照时，毛玻璃面靠近物鏡，照度增大，因此曝光時間应縮短。曝光時間随比例尺的变化关系列如表9-5。

(四)各种原圖的复照

像片平面圖的复照。是按一般的作業程序引至一定的比例尺，采用硬性半色調硬片

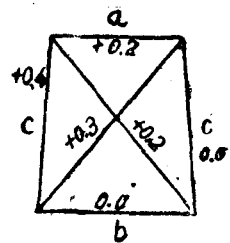


圖 9-8. 原圖圖廓尺寸不精确的补偿

或中等反差系数(1.5—2.0)的綫划技术軟片作感光材料。由于原圖是黑白的,一般都采用未增感或者是微弱的正色增感材料,如果像片平面圖用黄色顏料修飾过,則必須采用未增感的感光材料。

放大或縮小的曝光時間变化

表 9-3

縮		小		放		大	
比	例 尺	相对曝光時間		比	例 尺	相对曝光時間	
1		1		1		1	
3/4		3/4		1 $\frac{1}{4}$		1 $\frac{1}{4}$	
2/3		3/4		2		2 $\frac{1}{2}$	
1/2		3/5		2 $\frac{1}{2}$		3	
1/3		2/5		3		4	
1/4		2/5		3 $\frac{1}{2}$		5	
1/5		2/5		4		6	
1/6		1/3		5		9	
1/8		1/3		6		12	
1/10		1/3		8		20	
				10		30	

黑色綫划原圖复照,是最硬的材料进行,如特硬性綫划硬片,正性硬片以及硬性复照技术軟片ΦT-30。

照明像片平面圖和綫划原圖可以采用任何光源。如果使用未增感軟片,那末采用弧光灯或水銀灯較为有利,因为这两种光源所含短波光的百分率較大。

具有有色背景的原圖复照。这种原圖复照后要求在其复制品上能显露出所有的綫划元素,而没有有色背景的色調,因此必須选择与背景顏色相同的濾光片,使背景遮掩得最好。例如:黄色的背景則最好用黄色的濾光片来遮掩,而綠色的則用綠色的或黄色的濾光片(因为黄色的濾光片不可以通过綠色光),紅色的則用紅色的濾光片,褐色的背景虽不可能全部的遮掩但可用紅色濾光片减弱之。

当用黄色和綠色濾光片时,必須使用正色感光材料,应用紅色濾光片时,則使用全色片为宜。另外,对于这种原圖的照明,应使用鎢絲灯。

具有白色背景,有紅色綫条和藍色綫条的原圖复照。在該情况下,需要复照出單獨的二張負片,在其中一張上,必須显示藍色綫条,另一張上显出紅色綫条,因此,需要进行二次复照,其中一次要使用未增感的感光材料,并不加濾光片,此时,在負片的黑色背景上,就会得到相应于原圖上紅色的透明綫条;另一次要使用全色的感光材料,且加紅色濾光片,此时,所得黑色背景上的透明綫条,則相应于原圖上的藍色綫条。

藍圖复照。可以按照具体的任务,采用不同的方法进行。

a. 藍底上的白綫,必須要复照出硬性的复制品。此时需用正色感光材料复照,并加黄色濾光片。但更好是用全色感光材料,并加橙色濾光片。这样所复照成的透明負片是:其上所表示的黑綫是相应于原圖上的白綫,在这种負片晒出的正片上,即可得黑白綫。

b. 有时也可能会遇到与此相反的情况，例如：假若地圖上的藍綫着有黑墨，且由于圖形的改正和描繪的不正确，而使得在黑綫的旁边有多余的藍綫，这种原圖需复照成，其藍綫在复照品上看不出来，在这种复照情况下，必須使用未增感材料，且不加濾光片。

多色原圖的复照，必須將这种原圖分成三种原色：藍、綠、紅，在复照这种原圖时，可使用全色感光材料，并加相应的濾光片，但也可以对每种影像分別采用增感的感光材料。

§ 9.5 复照頁片的攝影处理

(一) 干片的处理

普通感光材料在复照后的处理方法与第六章所叙述的相同。綫划負片显影应使用强烈的显影液，如KLI-1显影液，其它的情况，則使用一般的显影液，如契皮索夫显影液或調和显影液。

有时为了要取得很大反差的負片，可使用特硬性显影液，它是几奴尼、貝路卡得新和魚性沒食子酸为显影剂，其中亞硫酸鈉放得很少，而取用的碱应是强碱。这种显影液作用迅速，并且在鹵化銀还原的地方产生的显影剂氧化产物，能使明膠强烈的發生坚膜作用，故又称为坚膜显影液。

曝光后的感光材料显影时，应使乳剂層向上。同时必須使显影液迅速的全面浸潤乳剂層表面，因为这样可使表面气泡和未浸透部分立即消失。为了使乳剂層表面显影液很均匀的浸潤，可以事先在清水中潤湿一下。显影时应当不断的搖动显影盆，否則显影就会不均匀。如果用橡皮在乳剂層表面上滑动，則可使显影更加均匀。

确定显影時間是非常重要的事，从第四章知道：感光测定特性随着显影時間而变化。但是显影到什么时候能出現最适合的特性呢？这个可以从分析 $S=f(t)$ ， $\gamma=f(t)$ 和 $D_0=f(t)$ 的关系曲綫求得。要获得良好的負片，显影时必須遵守下列几点：

1. 希望得到最大反差的負片时，那末必須显影到所有受光部分都完全还原，也就是应当显影到底。
2. 如果要得到軟性的負片，那末必須采用軟性显影液，而不要在硬性显影液中用縮短显影時間的办法取得，因为这样会使受光少的部分影紋消失掉。
3. 曝光过度不能用縮短显影時間来补偿，因为这样得出的影像反差不足。曝光过度的負片应当与正常曝光的負片一样的显影。
4. 曝光严重不足的負片不能以延長显影時間补偿，而必須用特殊显影法，否則不但得到很大朦翳，同时也不可能保証所有影紋畢露。如果曝光稍嫌不足那是可以这样修正的。
5. 当同一种原圖复照在同一种类型的感光材料上时，那末都可以根据試驗負片的显影時間来进行显影。

6. 当利用全色片負照时，为了便于目視控制，可以在显影中进行减感，方法与航攝軟片的减感处理相同。

复照負片的定影，水洗和干燥方法与第六章所述的基本相同，这里不再重复。

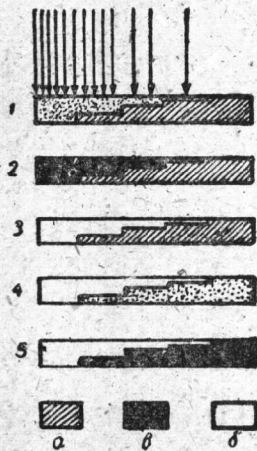


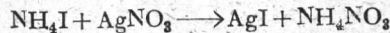
圖 9-9. 逆轉显影过程
a—卤化銀；b—潛像；c—金屬銀；1—已曝光的乳剂；2—已显影的像；3—用酸除去金属銀；4—再度曝光的乳剂層；5—再度显影的乳剂層

有时为了直接取得正像，需將感光材料进行直接获得正像的方法处理。这种处理方法称为逆轉显影法（參閱圖 9-9）。它的过程是这样，將曝光的底片进行第一次显影，这次显影要尽可能的使受光的部分全部显出。也就使全部受光的卤化銀还原。然后将負片进行水洗，并浸入起氧化作用的溶液中去，使还原的金属銀全部溶解掉，而只剩下未曝光的卤化銀。該溶液一般是由重鉻酸鉀与硫酸配成。为了除去乳剂層上黄色，应把負片放到含10%的亞硫酸鹽溶液內。于是打开白灯，使負片强烈受光，然后再进行显影，并按一般的处理程序进行定影、水洗和干燥。逆轉显影法可以应用普通的感光材料，但为了得到更好的成果，可应用特制的逆轉軟片。

(二) 克洛丁湿片法

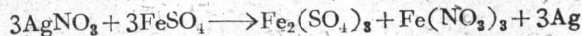
克洛丁湿片方法是在1851年替代达格尔銀板攝影法的一种先进攝影方法。它在攝影史上曾起过很大的作用。虽然近年来已逐渐为干片替代，但到目前为止，还有很多單位采用它。

湿片法是将硝酸纖維溶解于酒精和乙醚(即所謂克洛丁)，加入少量碘鹽(如 NH_4I) 以后，把它流布在玻璃上，然后浸入硝酸銀溶液中去，这时在克洛丁表面就会形成一層感光的銀鹽，如：



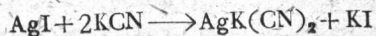
由于銀鹽的水溶液不能滲入到克洛丁層內部，所以在它表面上形成的感光銀鹽很薄。將玻璃板由溶液中取出时，則在它的表面上会留下一層硝酸銀溶液。这一点对于显影來說是很重要的。然后，將这样的湿板放到复照仪中去进行曝光(此时必須保持潮湿，否则会使負片全無用)。

克洛丁湿板是利用硫酸亞鉄来显影的。此时，硫酸亞鉄会与克洛丁表面上的硝酸銀發生以下反应：



分离出来的金属銀就沉淀在曝光时所形成的显影中心上。因此，在克洛丁板上影像的获得与一般干片上影像获得的方法不同，它不是由乳剂層所含的銀所構成，而是由板面上硝酸銀溶液的銀所組成。在該情況下，所發生的不是化学显影，而是物理显影。

定影可以应用25%的硫代硫酸鈉溶液进行之。但因克洛丁的感光銀鹽是碘化銀，而硫代硫酸鈉对它的溶解速度是最慢的，因此有时为了加速定影起見，常用4%的氰化鉀溶液定影，但氰化鉀有剧毒，必須特別注意。氰化鉀定影的反应式为：



由于板面所含的硝酸銀很少，所以获得的影像色調很淡，而必須用溴化銅加厚之。利用克洛丁板，可以得到質量很高的負片，这种負片能十分精确的表达出原圖的細节。这是它唯一的优点，不过目前由于乳剂制造技术的改进，制出分解力为200綫/毫米的微粒乳剂，已完全可以同它比拟了。

§ 9.6 复照負片的質量要求

不管負片的用途如何，都应当滿足以下几个共同的要求：

1. 負片不應該有漏光現象；
2. 負片应当清晰；
3. 負片应当显影均匀和定影完善；
4. 不应在白色底層上显露出黄色朦翳；
5. 負片上不容許有透明点或黑点、手指印跡和乳剂層的机械損伤以及在工作不慎所引起的缺点；
6. 負片上不容許因水洗不足而殘留結晶鹽。

从感光测定特性的观点来看，对綫划負片和半色調負片应提出不同要求，綫划負片应当具有下列特性：濃黑部的黑度不小于2.2，透明部分不超过0.2，黑度差不小于2.0，朦翳黑度不大于0.1。

半色調負片，根据攝影特性应当符合于良好的航攝負片，但又不同于航攝負片，因为它只是用于接触晒印，所以感光测定指标的变动范围可以放宽些，不过非常濃黑的負片也是不利的。所得的半色調負片应当具有下列特性：最大黑度希望不超过2.5，最小黑度应当比朦翳黑度大0.1—0.5，負片的平均黑度 $D_{平均} = \frac{D_{最大} + D_{最小}}{2}$ 应当位于0.7—1.5范围以内。朦翳黑度不大于0.3。

由于复照負片板面較大，若在其上晒印光学楔板后量测很不方便，同时考虑到复照負片的質量在某种程度上可略为放宽。故反差系数不作規定；但是可以用作檢查。对于綫划負片的反差系数的大概数值不小于2.5；对于半色調負片应在1.1—1.5范围以内。

評定复照負片 γ 的方法如下：

用無光像紙以各种不同黑度拼接为一張具有大致9—10級的梯級。并使梯級的二相鄰黑度差別大概相等，以反射系数为0.95的銅底紙作第一梯級，而以黑色絲絨作为最后一級。然后将这个梯級放在原圖旁边与原圖同时攝影。此后將負片放在黑度計上量测其黑度。以橫軸上的一定比例尺表示出原来光楔黑度，从縱坐标上以同样的比例尺表示出在負片上所量得的楔板圖片黑度，將測得的点联成曲綫，并用圖解方法找出 γ 值。

§ 9.7 負片的減薄与加厚

減薄与加厚为輔助作業，其目的是为了提髙負片的質量，根据負片影像各种缺点的

特性，可采用以下方法提高質量。

- a. 减少影像的黑度，
- b. 增大黑度，
- b. 除去朦翳，
- r. 改变负片的黑度差与 γ 。

减少黑度称为减薄，增加黑度称为加厚。在减薄时 γ 值可以保持不变或减少。而在加厚时， γ 值总是会增大的。

负片的加厚与减薄，只有在定影并经过充分水洗后方可进行；因为若在乳剂层的个别部分上含有硫代硫酸钠，则反应速度改变，因而不可避免的会产生斑点。

(一) 减薄

采用减薄的目的是为了减少显影过度或者是曝光过度的负片之黑度以及消除朦翳。减薄液可分成：平均的，比例的和超比例的三种。

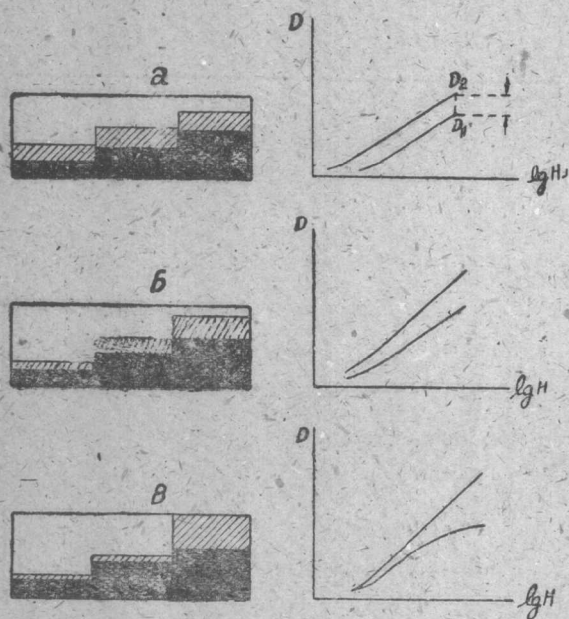


圖 9-10. 各种减薄液作用的特性

- a. 平均的，
- b. 比例的，
- c. 超比例的。

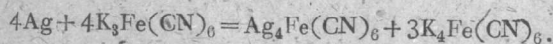
平均的减薄液是使负片各部分消除相同数量的银，即是使负片上所有黑度降低同一数值 ΔD ，此时 γ 值不变。

比例的减薄液是使所有黑度成比例的减少，即影像各部分上所消除的银量与其黑度成比例，此时 γ 值会减少。

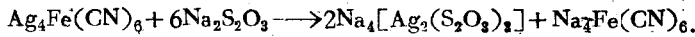
超比例的减薄液是仅除去大黑度部分的银而在阴暗部分上和半阴暗部分上的银几乎没有损失，这样 γ 值将减少很多。各种减薄液的特性可由圖 9-10 看出。

通常在减薄过程中，都是首先使银氧化，然后将银溶解。氧化所采用的药品为赤血盐 [铁氰化钾 $K_3Fe(CN)_6$]，及其他氧化剂。而溶解剂可采用硫代硫酸盐或其他溶解剂。

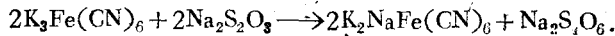
含铁氰化钾的减薄液是最普遍使用的一种减薄液，它是赤血盐和硫代硫酸钠组成的溶液，这两种药剂须在使用时配合。银的氧化及反应按下列方程式进行，



银氧化后形成亚铁氰化银，铁由三价还原成二价，所生成的亚铁氰化银与硫代硫酸钠作用后形成可溶性的络盐。



此时赤血鹽与硫代硫酸鈉彼此發生作用，因而減薄液逐漸的消耗了。



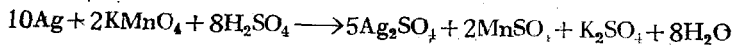
減薄液的特性取决于赤血鹽的濃度，若其濃度小于0.5%，則其減薄作用几乎成比例，若將其濃度增大至1%以上，則其濃度接近于平均的減薄，減薄溶液內所含的赤血鹽愈多，則其作用愈強。

配方

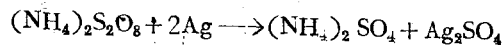
- I. 鐵氰化鉀.....7.5克
 水.....加至1升
- II. 硫代硫化鈉.....200克
 水.....加至1升

含鐵氰化鉀的減薄液，也可供消除朦朧之用，在負片加厚之前如果朦朧很大妨碍到影像的情況下，須除去負片上的朦朧，这是为了使綫划圖的像片上有潔白的背景。以上的配方是比例減薄的，可供显影过度的負片用。

含过錳酸鉀的減薄溶液，其应用也相当的普遍。它是0.1%的过錳酸鉀(KMnO_4)溶液，且于每升加50毫升的硫酸使其酸化。由于銀的氧化，产生了溶解于水的硫酸銀。其反应按下式进行。



含有过硫酸銨的減薄液，为超比減薄液，其作用能力表現最为显著，該減薄液的特点，是与銀离子的加速影响有关。該減薄液的一般藥方是2%过硫酸銨溶液。若在溶液中加入鹽酸鹽 NaCl ，則減薄的超比例作用就会增大。过硫酸銨減薄液在保存与使用过程中会分解，而且其濃度降低，因而減薄速度变慢。假如在碱性介質里进行減薄，則过硫酸銨減薄作用就与平均減薄液的相同，并且其作用变得很厉害，过硫酸銨的反应可用下式表示



(二)加厚

加厚分为比例的、超比例的与次比例的三种。

比例的加厚是使影像各部分的黑度与原有的黑度成比例的增加。应用次比例加厚液时，小的黑度比大的黑度增加得比較多，应用超比例加厚液时，大的黑度增加的比較多。

但是这三种加厚液，其作用的差别沒有減薄表現得那样显著。很多加厚液所起的作用，都可以認為是近似成比例的。

在大部分情況下，加厚可以分成两个阶段：1. 漂白，此时銀变成鹵化銀，而且氧化剂还原的产物沉淀在鹵化銀上。2. 变黑：使鹵化銀变成銀以及使沉淀在銀粒上的物質变成不透明的化合物。

汞質加厚液为一种比例的加厚液，其質量虽然好，但由于昇汞很毒，所以沒有广泛的采用。負片可以放到昇汞和氯化鈉（或鹽酸）各佔2%的溶液中去漂白，当負片浸到

溶液中去后，銀就变成氯化銀，而昇汞就变成甘汞。

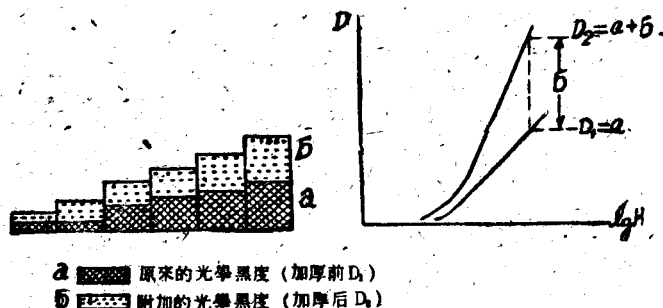
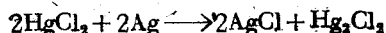
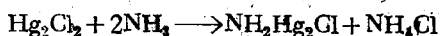


圖 9-11. 加厚的作用

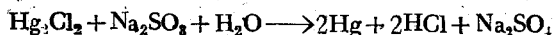
漂白过的影像变黑的方法有下列几种

a. 利用氨的稀溶液 (一份氨对五份水)



待化合物 $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{Cl}$ 沉淀到銀上，就呈黑色。

b. 利用 10% 的亞硫酸鹽溶液



放到显影液內去处理，此时会产生金屬銀与汞。

近来最普遍采用含有重鉻酸鉀的加厚液，將負片用含有鹽酸的鉻酸鹽的溶液来处理，使其漂白。例如可以利用以下的配方漂白。

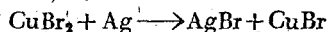
重鉻酸鉀.....	8 克
鹽酸 (比重 1.19)	6 毫升
水.....	1 升

如果將負片放到該溶液中去，金屬銀就变成重鉻酸銀 ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 而重鉻酸銀由于氯离子的存在而变成白色的氯化銀，当銀氧化时，鉻酸鹽局部的还原而形成一种化合物 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{CrO}_3$ ，該化合物不溶于水，因此沉淀在其生成的地方 (即銀粒上)。若溶液的酸性愈强，則漂白作用进行得愈迅速，但是，酸度却不能超过一定的限度，否則 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{CrO}_3$ 就会开始溶解，而使加厚效果减低，而且，在某种酸度时，加厚作用根本不能發生。若以一升內含 7—9 毫升的鹽酸，則加厚作用就很大，若含 12—15 毫升，則加厚作用为中等，若含 19—22 毫升，則加厚作用就弱了，若含 25 毫升以上，那簡直就不会發生加厚作用。 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的濃度，对加厚的效果影响不大。

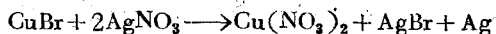
漂白过的負片可以用普通的显影液来变黑。通常是采用作用迅速的显影液，例如米士尔显影液，并且为了避免氯化銀溶解，該溶液內应加入極少量的亞硫酸鈉 (10—15 克無水的亞硫酸鹽)。

銅鹽的加厚法可供綫划圖加厚之用，該法的效力很大，并可以重复好几次，其在克洛丁方法中，尤为广泛采用。將負片放到溴化銅的溶液去漂白，該溴化銅系由硫酸銅与

溴化鉀混合而成，因此漂白液內含有硫酸銅与溴化鉀，漂白反应可用下式表示：



由于銀变成 AgBr 的結果，影像漂白了，水洗后，再將影像放到硝酸銀中去变黑：



所以在每个金屬銀原子上，有一个溴化銀分子，因而增大了影像的光学黑度。假如將其加厚过的負片仔細水洗和显影，那么由于沉淀在負片上的 AgBr 变成 Ag ，影像的黑度就更为增大。

配方：

溴化銅加厚液

硫酸銅.....	5 克
溴化鉀.....	5.5 克
水.....	加到 200 毫升

負片在这溶液內漂白后，水洗取出浸入下列溶液

硝酸銀.....	10 克
水.....	加到 100 毫升
氨水.....	数滴

直至負片在溶液內变黑程度停止后取出，再浸入下列溶液（2—3分鐘）

結晶亞硫酸鈉.....	5 克
水.....	100 毫升

將負片取出水洗再浸入任何一种显影液內再度增大黑度。

第十章 像片的晒印

§ 10.1 像紙的選擇

从航攝負片晒印的像片，不管它們的用途（如作像片略圖、野外判讀以及立体描繪地形之用）如何，都应具有很合适的反差，并且在光亮部分和陰暗部分上有充分明辨的細节。像片的反差应保證攝影範圍內各独立地物之間的界限明确，使判讀和立体描繪順利的进行。在整个像片內，影像的色調应当是中性灰色，凡是相同情况下的細节都应有相等的黑度。晒印像片略圖和立体量測用的每張像片，其色調不应该有差別。

航攝負片的反差变动范围很大，因此，要得到一定要求的像片，又要避免盲目的試驗，就必須很好的選擇像紙。为了便于選擇像紙，通常根据負片黑度差的大小，將負片大致分成：硬性、中性和軟性三种。

選擇像紙的一般規則是：对于黑度差別显著的硬性負片应当選擇軟性像紙；反差小的負片应当選用硬性像紙；正常反差的負片，則采用中性像紙。在实际晒像过程中备有各种反差系数的像紙，概略選擇后用直接試驗的办法来最后选定。

从感光测定观点看，上述選擇像紙的方法是符合影像正确恢复原則的。圖 10-1 即表示負片黑度差 ΔD_n 和像紙曝光量有效范围 L 之間的关系。在此圖上像紙的特性曲綫已按順時針方向旋轉了 90° 。

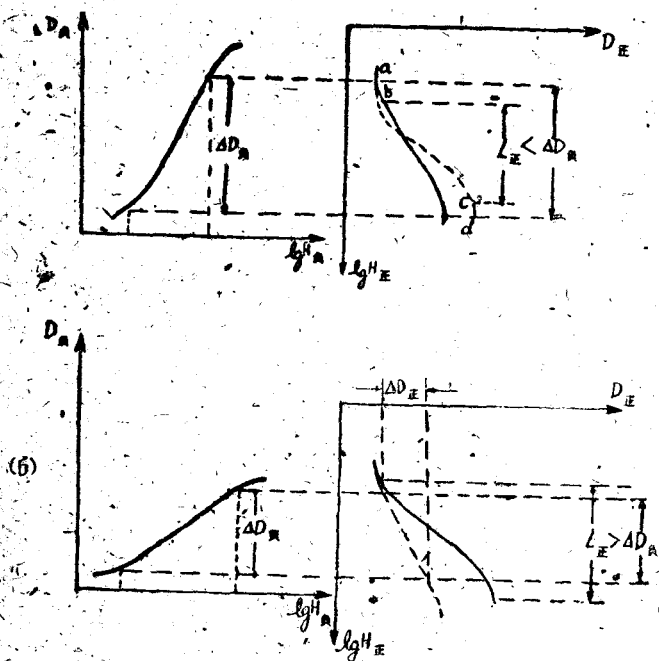


圖 10-1. ΔD 和 L 之間的关系

在 a 圖的曲綫中是假定所取的負片是硬性負片，假如采用硬性像紙（如圖中的虛綫所示），那么負片的最大黑度和最小黑度部分落在像紙的使用范围（曝光量有效范围）以外（如圖中 ab 和 cd 部分）一端是黑度太大，另一端是黑度太小，在这兩部分上，負片的影像都不能以足够的反差表达出来，一部分影像就不可避免要受到損失。因此，为了使負片上的影紋能完全的恢复，应该采用軟性像紙（如圖中的实綫部分所示），要使影像恢复的結果最完滿，就必須使像紙的曝光量有效范

圍等于負片的黑度差，即 $\Delta D_{負} = L_{正}$ 。

圖 10-19 表示軟性負片晒像的情況。如果這時再選擇軟性像紙（如虛綫所示），則負片影像的反差在像紙上將受到壓縮而變得更小（如圖中之 $\Delta D'_{正} < \Delta D_{負}$ ）。這樣就不可能得到良好的正像（因為 $\Delta D_{負}$ 本來就不大）。只有採用硬性像紙（如圖中實綫所示）並滿足 $\Delta D_{負} = L_{正}$ 的條件，才能得到最好的結果。上面所討論的結果同樣亦適用於中性負片。因此

$$\Delta D_{負} = L_{正}$$

這個式子便成為晒印良好像片所必須滿足的條件。但是實際上，滿足這個條件是困難的。一方面由於視力的限制，像片上黑度太大的影像，眼睛不易分辨；另一方面像片黑度很小的影像，會落在像片特性曲綫的起點或者在坡度非常緩和的部分，使像片有一部分黑度不顯著，甚至有消失影紋的危險。根據以上所述，選擇像紙時，應當使 $L_{正}$ 大於 $\Delta D_{負}$ ，其差值（ $L_{正} - \Delta D_{負}$ ），可以根據像紙反差程度在 0.1—0.3 的範圍內變動（像紙反差越大，則要求其差值較大）。

由於人眼對中等黑度感受最靈敏，所以從航攝負片晒印像片時，必須使所有細小影紋的黑度皆落在中等黑度範圍以內，並且不應有全白和很黑的部分。

蘇聯攝影學家 В.Я. 米哈依洛夫 和 П.В. 柴哈洛夫 在研究航攝像片質量中得出：在任何情況下，航攝像片上出現的最大黑度不應與像紙可能達到的最大黑度相同。並且像片上出現的最小黑度應顯著的大於朦朧，因此他們建議採用下列公式：

$$\Delta D_{負}, r_{像紙} = K \text{ 或 } r_{像紙} = K / \Delta D_{負}$$

來選擇像紙；負片的黑度差是很容易測定的，而 K 值須根據像片所要求的反差而定，像片的反差，則須根據航空景物反差而變；

對於中性像片 $K = 1.5$

對於硬性像片 $K = 1.9$

在接觸晒像或投影晒像中所用的像紙，其表面性質應根據像幅或像片的用途來選擇。例如，資料像片應選用有光澤的像紙晒印；如果晒出的像片再用玻璃加光，則會使像片有更多的光澤，增加影像的清晰性。攝影測量內業用來描繪地形用的像片以及野外綜合法測圖用的像片或像片平面圖，則需要用無光澤像紙晒印。

§ 10.2 接觸晒像

(一) 印像機

根據工作規模的大小，所採用的印像設備也有所不同。假如印單張像片的話，那麼可採用晒像框。如果要以很大的負片晒像，例如用復照像片平面圖的負片晒像，則採用大型的气压晒像框（如圖 10-2）！它是由座架和圖框組成，圖框借框軸和座架聯結，并可繞框軸轉動。晒像時，先將負片放在圖框的玻璃上，並使正片材料放在負片之上，次再蓋上橡皮壓板，使邊緣壓緊後，打開唧筒，利用與橡皮板聯接的軟管，從板下抽出空

气。这时，由于外面的空气压力，使正电材料紧密地压在负片上。当正电材料与负片达到很好的接触以后，便反转图框，使玻璃面向上，然后打开光源，进行晒像。

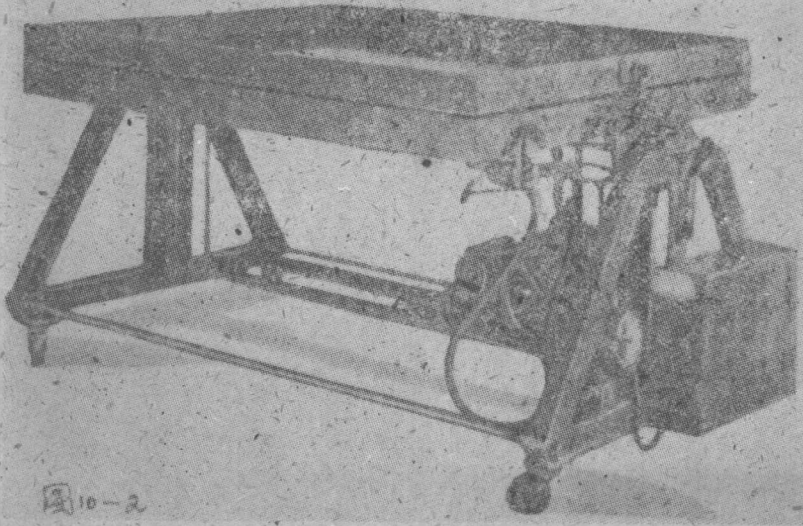


圖 10-2. 气压晒像框

大量晒像时，需要采用印像机，圖10-3是印像机的原理略圖。它是一个具有照明装置的箱子1；在箱子上部插有一块承放负片和像纸用的玻璃2；玻璃上装有一压盖3；

可使像纸紧压于负片上；在玻璃2的稍下方装有另外一块玻璃（通常是毛玻璃）4，用以产生散射光，使像纸上的照度均匀。照明装置是印像机内很重要的一个部件。一般印像机内，至少装有两个灯泡；其中一个是白灯（如图10-3中之7），另一个是对像纸不起光化作用的红灯。

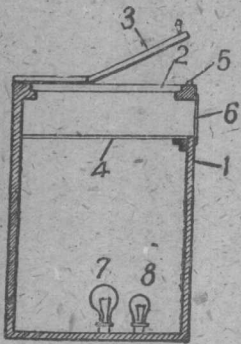


圖 10-3. 印像机原理略圖
1—外壳；2—承片玻璃；3—压盖；4—散光玻璃；5—电灯开关；6—小窗；7—白灯；8—红灯

灯泡与负片的距离直接影响到像片各部分照度（如图10-4），假如灯泡起初放在 L_1 的位置上，而后放在 L_2 位置，则很容易理解，灯泡在第二个位置 L_2 上时，照射在玻璃上的光照要比第一个位置 L_1 均匀得多，即照度差 $E_0 - E_2 < E_0 - E_1$ 。由此可知，为了使光照均匀，灯泡离负片的距离应当大一些好。但不宜太大，因距离太大，一则不能充分利用光照，二则增大印像机尺寸。下面所列的灯泡与负片之间距离，可以使中央和边缘的投射光照不超过10%。

- 负片尺寸 9×12 ：到灯泡的距离16厘米
- 负片尺寸 13×18 ：到灯泡的距离24厘米
- 负片尺寸 18×18 ：到灯泡的距离28厘米
- 负片尺寸 18×24 ：到灯泡的距离32厘米

比较完善的印像机，通常，在印像机内装有五个灯泡（圖10-5a），其中裝在中

間的一个功率較大，并可上下升降。其他四个則裝在四角上，每个灯泡都可用变阻器任意調节其光强。如再結合改变中間灯泡至負片的距离，則可使像紙上的照度很均匀。从構造上来說这种印像机，虽然比第一种复杂，但其作業率比前者高。另外有一种印像机（圖9-56），它裝有29个2.5瓦特的氙气灯泡和四个1瓦特的灯泡外，中央还裝有一个可以上下移动的50瓦特的灯泡，每个灯泡都有其單独的开关。这种印像机灯泡很多，可以調节灯泡亮度使光照極均匀，但由于控制这样的照明裝置甚为复杂，因而降低了該印像机的作業率。

最簡單的印像机，印象的曝光量是用人工来控制的。但是在極大部分的印像机內，光源的开关則是自动控制的，即当紧压压盖以后，自动接通电源，使白灯打开，压盖提起則灯就灭了。如圖10-3中的5即为自动鈕。完善的印像机，还裝有計时錶，用以安置所需要的曝光時間，当一按压盖，計时錶就会与白灯一起打开，并經過一定的時間間隔后自动的关闭白灯。

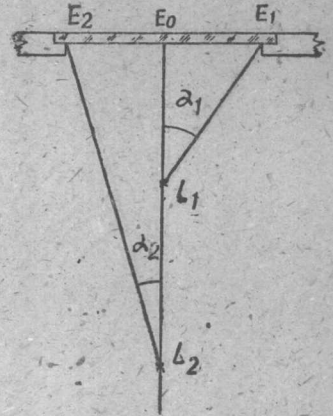


圖 10-4. 灯泡位置与光照均匀性的关系

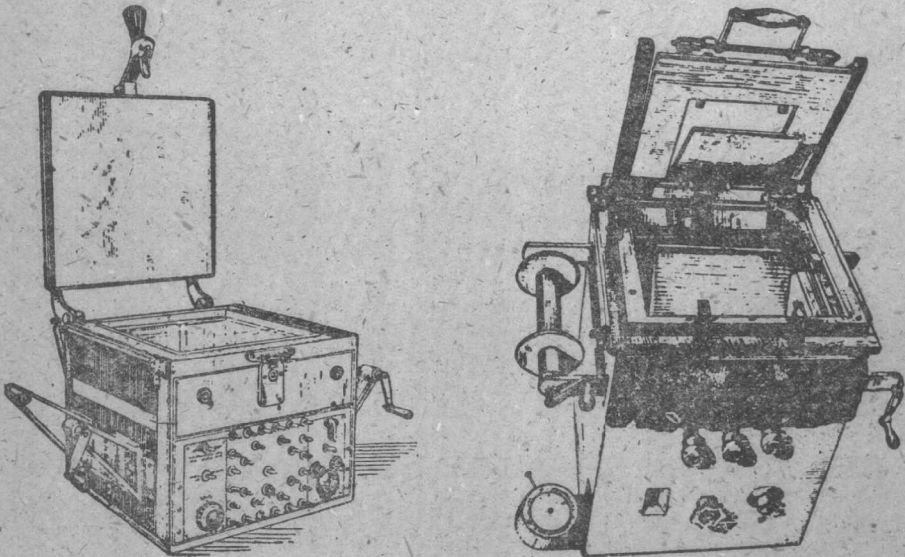


圖 10-5. 印像机

压盖是印像机中另一个重要的部件，普通使用的压盖分成兩塊，这样的压盖应用起来很方便，因为开始可用一塊压住像紙使它不能移动，然后再压下另一塊，同时进行曝光。这样的压盖有个缺点，在拼接处可能不会很好的压紧像紙。利用独塊的压盖則要靠得多，其缺点是不能用部分压盖来預压像紙。

在某些印像机中，压盖是由二部分（中央部分和边缘部分）組成。印像时，最初是中央部分下降而压住像紙，然后边缘部分再下降全部压住像紙，并同时打开白灯。

为了使像紙与負片压得很紧密，在压板的下面部分膠貼一塊厚的毛呢或者多孔的橡皮，或者是把压板下面部分作一个充气的橡皮气囊。

电子印像机：随着祖国大規模經濟建設的發展，科学技术不断的提高，目前我国已經能自己制造电子印像机了

电子印像机最主要的是，改变了以前晒像时需要用人工来进行遮光的缺点。它有自动曝光控制器，在印像中可以自动調节光源，由于光电效应的結果，能自动的使負片上黑度大的地方受光多而負片上黑度小的地方受光少，使得整張像片上所受照度均匀，这样印出像片層次分明，清晰可見。

电子印像机是由陰極射綫管、曝光量自动控制器、电子倍增管及高、低压电源等部分组成（見圖 10-6）。

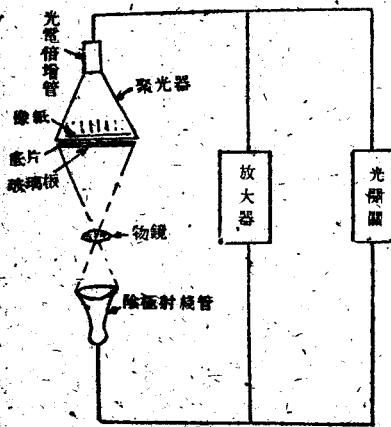


圖 10-6. 电子印像机示意图

用电子印像机晒像，負片和像紙是放在光电倍增管下面的玻璃上，光源是由陰極射綫管的光点扫描經物鏡而达負片和像紙，再經光电倍增管及放大器后又回到陰極射綫管。

印像机主要是靠二个自动控制系统来操作，第一个自动控制系统是来控制陰極射綫管的光点亮度，因为来自負片和像紙的光綫强弱主要是取决于負片的黑度，黑的地方通过的光少，在光电倍增管所产生的电流就小，但是返回陰極射綫管后在它上面的光点亮度却与倍增管的电流成反比，也就是說在負片最黑的部分得到最强的光亮，而負片淡的部分得到最弱的光亮，这样就能保证了光綫的均匀。

第二个自动控制就是能根据規定的曝光量自动的关闭陰極射綫管，这样就能保证曝光适当。

(二) 接触晒像技术

接触晒像前，首先应檢查一下負片和印像机上的承片玻璃是否清潔。当負片背面有指紋和污斑时，須用棉花蘸酒精輕輕擦淨。承片玻璃上如有灰塵亦应擦拭干淨，否則会影响晒出像片的清晰度。如果晒印的是航攝負片，則應該使它的編号順着晒印次序安放。

为了选择恰当的像紙，应该准确的估計負片反差。估計負片反差的最簡單的方法是把負片放在黑度計上量測其黑度差。晒印航攝像片时，由于同一卷軸上的負片，大部分是同一攝影特性，因此，估計負片的反差时，只要估計其中具有代表性的一張就行了。

晒像时，負片放在印像机的承影片玻璃上，并使药膜面向上。如果像幅内黑度不均匀，那末应当設法調节，使通过負片的光照补偿得很均匀，然后关闭白灯，把像紙复于負片上，用印像机的压盖使它压紧，并进行曝光。通常曝光時間是用目估并用几次試驗的方法来檢查校正，最后才作决定的。

整卷航攝軟片上的所有負片，其黑度情况大致是相同的。只要对其中一張負片进行

适当的遮光和准确的确定了曝光时间，便可按同样的规律晒印整卷航摄影片。因此，为了得到良好的像片，在曝光时间上多化些时间是完全合算的。试验曝光时，应该注意节约，不应该使用大张像纸。一般晒印航摄影片，是用一小条或两条像纸，在像片上按对角线位置安放作试验，曝光时间确定后，即可以用同样的曝光时间晒几张，并以不同的时间显影，然后选择其中一张质量最好的作为标准比样。这一点对于晒印镶嵌用像片是特别重要的。因为这样，才能保证所有像片的色调大致一样。

曝光时间应选择得很准确，因为只有准确的进行曝光，才有获得良好像片的可能。关于这一点可以从图 10-7 明确的看出。如果像片曝光不足，则反差受到压缩，且整张像片黑度太小。相反的，如果曝光过度则反差亦受到压缩，而整张像片黑度太大。

晒印立体量测的航摄影片时，应当考虑像纸的变形。使它的纵向或横向始终顺着同一个方向安置。

广角航空摄影机所摄的负片，一般都是中央黑度比边缘黑度大，这是由于广角物镜的焦面照度分布不均匀所致。这种有规则的黑度不均匀，可以利用中央灯泡升高位置或减弱周围灯光强度的办法调节。如果印像机缺乏调节设备，则可在光源和承片玻璃之间放一块中间挖有圆孔（最好圆孔切口处切成锯齿形状）的纸板或者是在散光玻璃上叠积若干张开有不同大小圆孔的透明纸来代替。但是，应当注意，不能使晒出的像片上存有遮光和未遮光部分的明显界限。为此要使遮光纸板与负片保持适当的距离。此外，有时候由于地物照度的特殊变化，例如，地物落在阴影中或有强烈面反射光，也会使负片上的某一部分黑度特别小或特别大。这种不规则的黑度差别在晒像时亦应尽量设法补救。补救的办法是用透明纸（必要时甚至可用黑纸）撕成与需要遮光部分的形状相似，叠放在相应于负片遮光部分下面的散光玻璃上。纸的叠放层数视负片的黑度情况而定。

为了得到良好的像片，像片必须要显影到底，即显到最大的 γ 值，有时为了使影像充分显出，像纸在显影中的时间最好是长些，较长时间的显影在感光测定方面有好处，它表现特征曲线平行的向曝光量少的一方移动，也就是由于感光度增高，而使曝光不足部分的影纹显露。

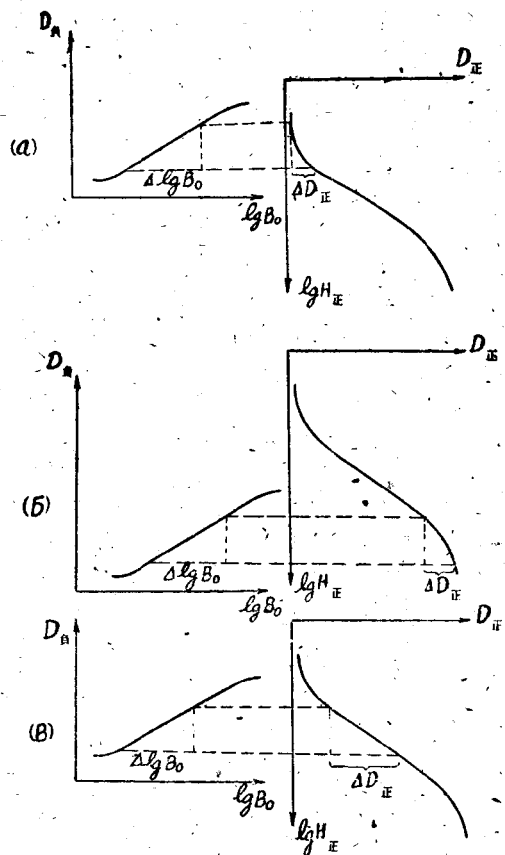


图 10-7. 晒像时曝光量的选择对像片质量的影响
a-曝光不足 b-曝光过度 c-曝光正常

因此，我們應該知道，所採用像紙的感光度是怎樣隨着顯影時間的變化而變化。如果將在同一曝光量下所獲得的若干張感光測定圖片以不同的時間進行顯影，然後在每一張圖上確定 L 和 $\lg S$ 並畫出 $L=f(t)$ $\lg S=f(t)$ 圖解關係曲線(圖 10-8)，該圖中曲線 I 表示 S 的變更與 t 的關係，而曲線 II 則表示 L 的改變與 t 的關係。當 γ 值最大時， L 值不變，如再延長顯影時間，到某一階段則 S 亦不變，當 γ 值以及 L 皆為常數時，應該認為是正常的顯影，然後當正常的顯影以後，還可以將像紙再顯影若干時間 Δt ，一直到繼續顯影已成為無益處時為止，因為那時 S 為一常數。在 Δt 時間內增加 $\Delta \lg S$ 的增量有其實際的意義，因為 $\Delta \lg S$ 值愈大，則在晒像時曝光不足的偏差更利於用顯影法改正之。

但是，假使像紙很容易產生朦朧，則不宜長時間的顯影，其許可延長的顯影時間，可用實際方法求得。即將半張像片蓋住，使其不受光，而將另外半張先進行適當的曝光，使得在該部分上能顯到最大黑度，次將該像紙切成若干小張，並使每一小張上皆含有已曝光和未曝光部分，然後將這些像紙以不同的時間進行顯影、定影最後再作互相比較，從比較中決定最早獲得最大黑度所需要的顯影時間 t_1 ，以後求出顯出最明顯的朦朧所需要的时间 t_2 ，其差值 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，即為許可延長顯影時間。

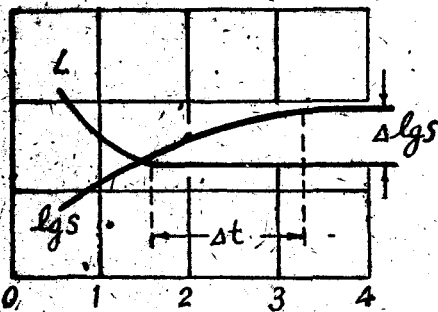


圖 10-8. 最大顯影時間的確定

航攝負片晒印時，有時由於遮光控制不良，常常出現像片邊緣部分曝光過度。因此就不能使整張像片全面顯影到最長時間，而應當顯影到最初影像出現時，就從顯影液拿出並放入水中漂洗一下，然後放在玻璃片上（或其他支承板上），再用小塊棉花蘸上新的顯影液在顯影慢的地方輕輕塗擦，進行局部顯影。當黑度達到一定程度後再重新放到顯影液中进行全面顯影，並按照像片標準比樣終止顯影。這種

方法，最後可使一張像片上各部分影像均勻顯出。

§ 10.3 投影晒像

利用儀器將負片的影像投影於感光材料上（感光材料是放在承影面上的），當改變了負片與承影面之間的高度，同時滿足了透鏡構像公式就可得到放大或縮小或等大的影像。這種負片不與像紙接觸的晒像方法稱為投影晒像。攝影測量中一般是將投影晒像的方法用於糾正儀及縮小儀上以編制像片平面圖或制作多倍儀用的縮小片。

在投影晒像中，不論是放大或是縮小，其基本原理都是保證滿足透鏡構像公式

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

的。具體的說，投影晒像時影像與物體的關係恰巧是與攝影時相反，即像場空間與物場空間互換。

(一) 投影晒象技术 (放大和纠正晒象)

負片放大的許可范围,是根据負片影象顆粒的大小和放大条件而定,要使負片能够放大,在显影时必须使它得到較少顆粒的影象且負片的乳剂层上不許有任何輕微的损坏,否則会降低放大象片的質量。

利用微粒軟片和靜止鏡箱所攝得的負片,在适当的光照条件下,完全可以放大到8—10倍,因为这时所得到的影象顆粒不粗也不模糊。

航攝象片可允許放大的程度,除了取决若干攝影因素外(如物鏡和感光片的分解力,景物反差等),还取决于影象移位的大小,因为由曝光时物鏡移动所引起的模糊,虽然不易用眼睛看出来,但在放大后却完全可以觉察出来。

当航攝象片放大到一定倍数时(最低放大限度)辨别細小影紋的可能性增大,因而相应地提高了刺点精度,但当超过一定限度时則影象模糊不清,刺点精度降低,因此那种获得最好效果时的放大倍数即称为航攝象片的最高放大限度。

确定和提高航攝象片的最高放大限度对国民經济建設是有巨大的益处的,因为这样可以采用小比例尺的空中攝影,而將攝取的負片放大后就可以得到大比例尺的象片,В. А. 法斯曾求得了航攝象片的最高放大限度为三倍, В. Я. 米哈依洛夫用現代較完善的感光材料和正确的显影証明航攝象片放大倍数完全可以达到四倍,如果再提高物鏡和感光材料的分解力以及改善航空攝影机在飞机上的稳定性的条件下,將曝光時間縮短到

$\frac{1}{500} - \frac{1}{1000}$ 秒,那么放大倍数还可以增大。

为了适应国民經济建設各部門对地形图的需要,我国某些单位會將中比例尺的航攝負片經過二次放大得到1:5000或1:2000比例尺的地形图,初步試驗結果証明,將某些地区內的航攝負片一次放大到4—5倍,可以滿足航測綜合法的要求。

这种方法是充分利用了我国現有的中小比例尺航攝負片資料,所以大大提高成图的速度和降低成图的成本。目前將航攝負片放大到4—5倍来进行綜合法測图已为許多单位采用,并且正对更大的放大倍数进行研究,以期从放大晒象技术上,和航攝技术上提高航攝負片的質量,充分利用它的最高放大限度。

供放大象片用的放大机类型很多,根据物鏡光軸的位置,放大机可分成垂直式和水平式二种,前一种較为方便,因为所占位置較小,承影板是水平的,安置象紙也方便。放大机的主要部分是照明器、物鏡部分和承影板。在垂直式的放大机上,这些部分是一根軸联接起来。水平式的則用一个总的坐架联接起来。

承影板上光照的均匀程度,对放大影象的質量起着很大的影响,因此照明器是重要部分。照明負片光綫可分为散光式和聚光式二种。

图10-9a 为聚光式照明器,其中装有一个聚光器,因而它能发出有方向的光綫。它是由鑲在同一外框內两个凸面相对的平凸透鏡組成的,光源应当安置在光軸上适当位置,以保証聚光器將光源会聚在物鏡中心。 d_1 和 d_2 是聚光器的共軛焦距,而 a 和 b 是

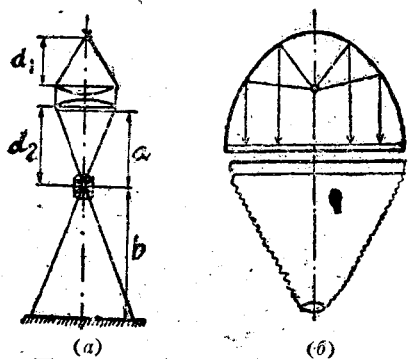


圖 10-9. 不同型式的照明器簡圖
a—聚光式；b—散光式

經濟的一種照明器，因為，其所損失的光線與其他的照明器比較起來是最小，故便于小功率燈泡，且其通風設備也可簡單些。

圖 10-96 為散光照明器略圖，燈泡位於一白色曲面的焦點上，在該燈泡下面放有一塊毛玻璃(或乳白玻璃)，該玻璃的中心部分由燈泡的直射光束直接照明，而其邊緣部分則由白色曲面的反射光照明。若燈泡位置很正確的落在曲面的焦點上，則光照是很均勻的。

散光照明器的光照均勻性，不受影像比例尺改變的影響，但是這種照明器要損失很多光線。

放大操作很簡單，即先移動整個投影器確定放大影像大概像幅後，再進行精確對光，這時最好用一個放大鏡檢查。然後用安全濾光片遮住物鏡，將像紙安置於承影板上並固定之，最後撥開濾光片進行曝光。如果是採用聚光照明器，則須預先調節燈泡位置使承影板上的光照均勻後，再安放像紙進行曝光。

通常放大時，負片的某些部分曝光時間要長些，而另一些部分要短一些，因此需要遮光板，這遮光板是由厚紙板做成的，其邊緣是鋸齒狀或其他不規則形狀，厚紙板上裝上一根金屬絲做的把手。曝光時，把紙板放在物鏡和承影面之間，在需要遮光部分不斷擺動。

將航攝負片進行糾正，其目的是在得到比例尺一致的、水平的航攝像片，因為空中攝影時，航空攝影機的光軸總是或多或少的會偏離垂直位置，而且由於航高的改變引起了比例尺的變化。為此編制像片平面圖時就必須使所有像片的比例尺歸化成一致，並糾正由於光軸偏傾所引起的影像變形。這些工作是利用糾正儀來完成的。糾正儀是一種精密的投影儀器，它的結構已在攝影測量學中詳細敘述，小型糾正儀放大倍數是 0.6—2.5，而大型糾正儀可將像片放大到五倍。

糾正的像片是供編制像片平面圖用的，故除了滿足攝影測量在精度方面的要求外，還要求色調一致，如果像片本身色調很好，而與鄰接像片色調不一致，那麼這張像片仍然是不能採用。因此，糾正晒像時，就應該很小心地注意各種影響像片色調的條件。首先必須使承影面內的光照十分均勻。如果糾正儀是聚光照明器，則糾正時必須使光源調整

投影物鏡共軛焦距。若改變放大影像的比例尺，則必須改變 a 和 b 二者的比例，此時，物鏡的位置移動了，就不能再會聚在物鏡中心。因此，必須改變光源到聚光器的距離。

通常，應保持光源安置在適當的位置使它投影在承影板上的光照非常均勻，若影像比例尺稍許變更，則光源的位置可不變，如果所採用的光源近似於點光源，則發光體在物鏡光圈面上的影像可能要比光圈的最大的孔徑小，在這樣的情況下，只要調節光圈，而曝光時間可以不變。聚光式照明器是最

在正确的位置上，如果是散光照明器，那么只要光源已符合于仪器结构的正确位置，以后就可以一直保证光照均匀了。

要进行纠正的航摄负片，不应当有很大的黑度，因为这样会增长曝光时间并使作业率降低。此外，浓黑的负片，由于长时间受光照射，会发热而引起变形，有时会使负片完全变形无用。所以纠正用的航摄负片黑度不要过大，其最大黑度最好不要超过 1.4。相反的，非常透明的负片，再与感光度较高的溴化银象纸配合起来也是不很适合的，因为纠正晒象时与放大一样，采用遮光办法来补救负片黑度的不均匀。一般晒象时改正负片上有规则的黑度变化（黑度从中央向边缘逐渐减小），可以用双手捧住投影光束使中央部分多曝光来补救。但如果是需要象片某一部分多曝光，那么应当先做一个遮光板，遮光板可采用开有大小不同而边缘有锯齿形的小孔若干个的硬纸板做成如圆盘光圈一样的形状，或者仿虹形光圈的形式制造。

如果曝光时间很短，用手或遮光板来遮光动作需要很迅速，如果曝光时间以分来计算的话，那么遮光的掌握就比较容易。纠正晒象时，须使相邻许多象片的曝光量一致（可根据秒表计时）。其次，象纸的选择也应以负片的黑度差为根据。象纸以采用溴化银纸为宜，因为氯化银纸和氯溴化银纸的色调会随着摄影处理的条件起变化。它们只适宜于业余晒象用。

要是晒象时还不能完全改正光照的不均匀。那么可以象接触晒象一样，在显影时利用局部显影的方法加以补救。

为了使所有象片色调一致，必须选择其中认为色调最好的一张作为标准比样，其余各张象片的色调都控制得和它一样。

（二）透光缩小技术

在航空摄影测量中，多倍投影仪测图，需要用由航摄负片缩小的透明正片。

航摄负片缩小是用专门的缩小仪进行，它分可变缩小系数和固定缩小系数的两类。图 10-10 为固定缩小系数的缩小仪的结构略图。缩小仪下部是一个半圆形反光照明器，它的中央装有一个 50—100 瓦特的灯泡，灯的位置可以在水平或垂直方向移动，使得缩小仪承片玻璃 2 上的照度均匀。为了使承片玻璃上得到很好的散光，在它下面安置一块乳白玻璃。

承片玻璃上绘有四个线划或十字叉的指标，并在相对指标的联线的交点上绘有直径为 2 毫米的小圆。缩小前应使航摄负片的框标与承片玻璃上的指标相重合。检查指标是否重合，可以通过观察窗 3 上的放大镜观察。指标对准后将压平玻璃 2 放下，使负片压紧。负片影像通过物镜 4 投影于正象硬片 5 上。由于负片影像中央部分黑度与边缘部分黑度不一致，因此在缩小仪上装有一个浓度从中央逐渐向边缘加深的灰色滤光片，它可以作垂直方向移动，使透明正片照度补偿很均匀。

现有的 UG-M 缩小仪的构造原则上与上述相同。所不同的只是外形和照明部分。它的照明器不是一个单独的灯泡，而是几个日光灯，同时也没有半圆形反射器。UG-M 有两个缩小物镜，可以更换使用。一个缩小系数为 1:45，玻璃尺寸为 49×49 毫米，另一

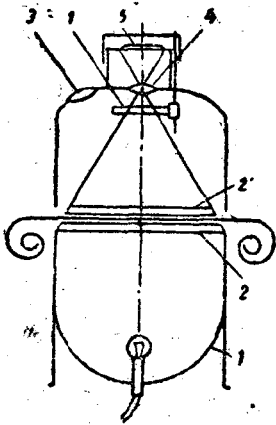


圖 10-10. 縮小儀

个縮小系数为 1:3.31, 玻璃尺寸为 58×58 毫米。两个物鏡都是縮小 18×18 厘米像幅的航攝負片。

由于縮小的透明正片在多倍投影仪中要投影放大 15 倍, 因此, 对透明正片的质量必須提出很高的要求。

- 1) 縮小透明正片的基片应该是非常平的玻璃;
- 2) 透明正片不应有因仪器光学部分引起的变形;
- 3) 縮小片上应当沒有朦翳, 光亮部分和陰暗部分的細节影紋应当完全能清晰明辨。而且中央和边缘部分黑度要均匀一致。最大黑度不应超过 1.2, 因为黑度太大, 以后在多倍投影仪上投影时, 再戴上紅綠眼鏡观察影像就很困难。
- 4) 縮小片上不应有任何机械损伤和处理中的缺点。

透明正片应采用專門的微粒氯溴化銀硬片。这种硬片, 目前我国各航測作業單位都已有自己附設的專門實驗室制造。由于透明正片要求非常高, 因此, 处理过程中应特別小心, 透明正片的曝光時間應該比正常的曝光時間稍为長些, 但不能曝光过度得很厉害, 它要求含有硼砂的調和显影液显影, 且显影時間應該很短, 以便得到小的 γ 值和保証微粒性。虽然显影時間很短, 但由于曝光已稍許过度, 所以在光亮部分上的影紋仍能清晰的显露出来。显影以后应在 1% 的醋酸溶液浸洗一下, 再放入酸性定影液中去定影。显影和定影溶液应当用非常清潔的水配制。定影后經過 10 分鐘水洗, 再放入 10% 的鉻矾溶液中坚膜 5 分鐘, 然后再水洗 15 分鐘, 取出干燥。干燥要在空气平靜和無灰塵地方进行。

§ 10.4 像片的处理

像片的处理与負片的处理相似, 不过, 在負片过程中, 可以利用显影時間的变更, 修正相当程度的曝光偏差, 在正片过程中却很难改正曝光的偏差。因此, 晒像时, 曝光就必须很精确。正确曝光的像片在一定显影時間內可以得到需要的黑度。如果使用的像紙, 朦翳比較稳定, 那末, 还可容許显影時間略加延長, 使曝光不足部分的細节影紋显出。

像片的色调会由于显影液成分的变更而稍許起些变化。如果显影液內含有大量的溴化鉀, 像片上就会显出不适宜的淺綠色的色调, 不同的显影剂, 显出影像的色调亦有差異, 例如, 采用普通的米士尔几奴尼显影液, 所得的色调是接近于灰色, 采用格里新显影液, 就会得到灰色 (铅笔色的) 色调, 若采用阿米多尔显影液, 则会得到藍黑色。

航攝像片的显影, 通常是采用契皮索夫显影液, 但須將米士尔和几奴尼的含量之比稍許改变一下, 即將 1:5 改成 2:4。現將配方列出作比較:

契皮索夫显影液	适合于像紙的显影液
米士尔.....1克	2克

凡奴尼.....	5克	4克
亚硫酸钠.....	26克	26克
碳酸钠.....	20克	20克
溴化钾.....	1克	1克
水.....	1升	1升

如果是纠正象片显影，那末再将它用清水 1:1 冲淡，因为这样可以便于控制象片色调。

如果在硬性象纸上要得到软性影象，则可采用下列配方：

米士尔.....	3克
亚硫酸钠.....	15克
碳酸钠.....	15克
溴化钾.....	0.5克
水.....	1升

相反的，如果要得到硬性影象（如线划图），则可采用 KU 显影液；要是在此显影液中再加入 5 克/升的苛性钠，那末它就可以更硬。

有时由于没有适当的象纸，只好用非常硬的象纸晒印，这样得出的影象必然反差太大。为了使影象软化，可以在显影前采用浓度较淡的（1:1000—1:2000）重铬酸钾溶液处理。处理时间，按需要软化的程度而变。但应注意，停留在该溶液的时间不要太长，因为太长了会使象片上细小的影纹损失。

显影后的象片首先应该放到水里去进行水洗，然后再放到酸性定影液中去定影，如果将这张象片放到普通的定影液中去，则不会立刻停止显影，因而黑度会增大。由于定影得不好的象片会很快的变色，因此象片必须充分的定影，最好象片是连续的在两盆定影液内定影。由于定影液不仅会透入乳剂层，而且也会浸透到象纸和硫酸铜层里去，因此象片应该非常仔细地水洗。同时，水洗时必须注意使象片不互相粘贴，并且应该用手翻动象片或者用专门的水洗槽（图10-11）

使水沿着各壁向槽内移动的方法来翻动象片。

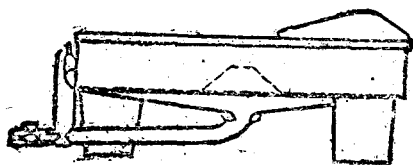


图10-11. 象片的水洗盆

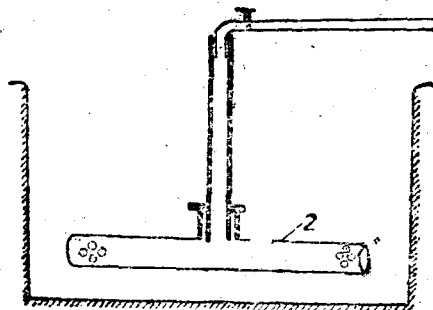


图10-12. 简便的象片水洗器

图10-12所介绍的是一种非常简便的象片水洗器，其结构如图所示。它是由一个固定在自来水水管上的垂直管1和套在垂直管上而且可以自由转动的横管2组成。横管可以用竹子做，在它两端的相对侧面上各开有若干小孔。当水龙头打开后，就在横管两端

的小孔內以相反的方向射出，于是便形成力偶，推动横管旋轉。此时象片就在水槽中自动的打轉和翻动。

此外在水洗时，必須注意不讓急的水流直接打倒乳剂层上去，因为这样会使象片产生气泡。此外，象片在浓度很大的定影液中定影后，进行水洗时亦会产生气泡。为消除这个現象，在水洗前可将象片先在5—10%的硫代硫酸钠过渡性溶液中处理一下。象片的水洗时间与紙基的厚度有关，通常在流水中水洗約須30—40分鐘。

水洗后的象片一般是放在空气流通外讓其自行干燥，它的放置形式有两种，一种是把它平放在蒙有紗布的架子上，另一种是把它夹在夹子上悬挂起来。后一种干燥較快，但象紙上下部干燥不匀，往往产生象紙不規則的变形。因此航摄影片(特别是量測的或鑲嵌用的象片)应当用前一种方法干燥。若通风設備良好，經1—2小时后，象片就可干燥。

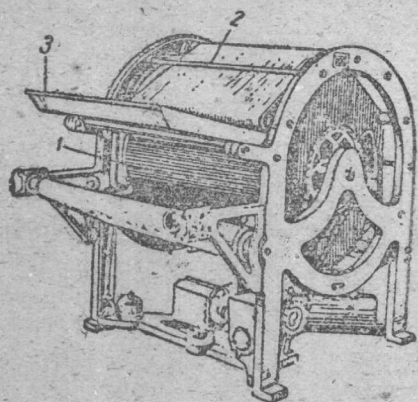


图 10-13 象紙的烘干机

有时为了加速象片的干燥，可以采用專門的象片烘干机。图 10-13 即为一种專門烘干机的略图，图中：大鼓輪 1 可用电热加温（大約需用 1.5 千瓦特电能），輸送带 2 繞在該鼓輪上，当进行烘干时，将象片放到輸送带上，使象紙的紙基朝向鼓輪，然后靠輸送带使象片紧贴于热鼓輪上，鼓輪以緩慢速度旋轉，当鼓輪旋轉一周时，烘干机上的象片就能完全干燥了。当象片干燥后，会自动到接收槽 3 中去，此仪器的工作效率每小时可达 600 张航摄影片。

除上述的烘干机以外，还有一种加光烘干机。它是一个磨光并可加热的表面将象片的药面向着光面贴上，然后用滾筒压紧并加热之，干燥后的象片会自动的脫落下来，在光滑表面上烘干的象片，就会具有鏡面般的光泽。

§ 10.5 象片的主要缺点及其产生原因

象片在处理的过程中，由于各种因素的影响及处理不当，結果会造成很多的缺点。正片缺点的种类很多，同时也很复杂，往往其中夹杂着几个缺点，很难立刻判断出来。现将象片比較主要的一些缺点、产生原因以及防止的方法分述如下：

(一) 象片全面太黑：

产生原因：

1. 象紙曝光过度；
2. 显影过度；
3. 显影液溫度太高或显影液內溴化鉀太少；
4. 采用象紙的反差不适合所用的底片。

防止方法：要在晒印之先做好充分的試驗。

(二)像片全面有灰白色朦朧

产生原因：

1. 由于曝光不足而有意延長显影時間；
2. 显影液內溴化物太少；
3. 安全灯不安全而产生朦朧；
4. 像紙过于陈旧。

防止方法：只有事先預防或者采用平均減薄方法減薄。但航攝像片一般不容許減薄，因为这样会使細小影紋喪失。

(三)有綠色或棕色斑點

产生原因：

1. 显影液失效，或已变色，或溫度太低；
2. 藥液內溴化鉀太多或夾雜有定影液；
3. 曝光过度而显影不足。

防止方法：只有根据上述原因，事先做好預防工作。

(四)棕色或紅色污漬

产生原因

1. 显影液失效或已氧化；
2. 定影液缺乏充分的酸質或在定影过程中未能經常攪动，以致定影不均匀。

(五)白色圓點

产生原因：

1. 紙上有气泡存在，致使显影液不能到达該处；
2. 塵沙顆粒或在裁切像紙时切口上脫下之小紙屑附着于負片上或印像机之玻璃上。

防止方法：在显影之前，应將像紙放在清水中浸湿后再进行，以防止气泡产生。

(六)黃色斑點或黃色朦朧

产生原因：

1. 像片上之污物或曝光不足而强迫显影；
2. 定影开始时未攪动；
3. 显影液失效或者过弱；
4. 定影及水洗不充分；
5. 水洗的水內有鉄質（可能由水管生鏽而来）；
6. 像片在显影过程中，放在空气中之時間太長（天热更甚）；
7. 帶有鹽份之海洋大气对像紙的影响。

防止方法：要事先防止。

(七)清晰的負片印出的像片影像模糊不清

产生原因：

1. 印像时压盖沒有压紧（局部模糊）；
2. 在曝光的过程中像紙移动；
3. 印像机承片玻璃上有矇霧；
4. 底片药膜放反；

防止方法：要事先注意。

(八)影像太淡，缺乏層次

产生原因：

1. 曝光不足；
2. 显影不足或显影液溫度太低；
3. 像紙号数不配。

(九)明亮部分缺少影紋，陰暗部分黑度很小

产生原因：曝光不足。

(十)陰暗部分缺少影紋，明亮部分黑度較大

产生原因：曝光过度。

(十一)黑点或黑斑

产生原因：

1. 显影液中有不溶解的物質；
2. 像紙显影前蘸了几滴显影液。

(十二)像紙上一塊深黑，一塊淺黑，且有鮮明界綫

产生原因：像紙上局部地方有其它物質存在，使显影不均匀。

防止方法：当發觉有这种現象出現的可能时，及时局部显影。

(十三)黑綫和綫帶

产生原因：乳剂層受到一定压力的摩擦。

防止方法：事后無法防止。

(十四)气泡

产生原因：

1. 显影、定影、水洗时溫度相差太大；
2. 銀底層塗布不好；
3. 水洗时急水冲打像片或者流动量很大的水內冲洗受損；
4. 过份濃的定影液产生不良的作用；
5. 水洗中的水包含較多的空气。

防止方法：第2、5两个原因無法防止。

以上所述仅將像片的一些經常出現的缺点介紹出来，它不是像片上所有的缺点。上面所說的許多缺点中，其产生原因总的說来大概有这些：即曝光不正常、显影不正常、定影不正常、象紙問題、印像机問題、溫度不正常等等。因此，要求曝光开始以至于干燥完畢为止的一系列过程中，都須要按照一定的要求进行，只要其中有一个过程处理不

当，往往就会招致一些缺点，虽然有些缺点事后可以补救，但是应该说，經补救后的象片很多还是不能满足摄影测量上的要求的，甚至成为廢品造成返工浪費。

§ 10.6 在硬底板上裱糊像紙

像紙經過摄影处理以后，变形很大，这样会使航测作業精度大大降低，因此必須尽量使象紙經過摄影处理后的变形最小。目前防止变形的办法是將像紙事先粘貼（裱糊）在硬底板（玻璃板或鋁板）上，然后再进行晒印。根据实际作業的經驗，証明这样可以提高作業精度很多。

（一）底板的准备工作

首先根据要晒印像片的尺寸来决定底板的尺寸，应使二者大小相等，厚度大約为2—3毫米，选用的底板如为玻璃片，則需先将玻璃片之四边磨光，以免工作时將手割破。如为鋁板，則需事先用砂皮或利用磨板机將其表面磨毛，以便易于裱糊。

此后应將底板用热水进行洗刷干淨，有时应將其底板泡在沸碱水中，以除去表面之油脂。底板經这样处理后放在木架上干燥。

（二）配膠

配膠采用的药方如下：

明膠.....	120克
淀粉.....	240克
水.....	1升

在配膠的二小时前，先取全部水量的二分之一將明膠膨脹，并一起放在隔水鍋內加温，使明膠逐漸溶解（溫度不要超过60°C）。再取二分之一的水溶解淀粉，待明膠与淀粉均已全部溶解以后，將后者徐徐加入前者，同时用玻璃棒攪动，直到淀粉成熟为止。为了除去杂质或部分不溶解的小粒塊，須用紗布將所配成之膠液进行过滤。待冷却至25—30°C时，即可进行裱糊。

（三）像紙的裱糊

像紙的裱糊工作应在暗室安全灯下进行，使用之膠液应用热水保温，使其大約在25°—30°C范围。裱糊前，应將像紙在清水中浸潤，大約經一分鐘后取出并用紗布或海绵將其背面之水滴吸去。此后，用毛刷將膠液均匀的塗布在玻璃片（或鋁板片）上，后將已浸潤过的像紙舖在上面（像紙的藥膜朝上），再用一張清潔而表面光滑的白紙放在像紙上面，用橡皮滾筒压平，使底板（玻璃或鋁板）与像紙之間沒有气泡存在。由于紧压的关系，在底板与像紙之間多余的膠液将会流布在像紙面之四边上，这时应用干淨紗布擦去，以避免膠液对像紙起化学作用。

裱糊完畢之玻璃板应放在干燥櫃內干燥，如在自然条件下进行長時間的干燥，則会因時間較長而使膠液渗透表面，以致像紙出現白斑。

裱糊好的像紙經干燥后即可进行晒印，一般要求不要超过三天（湿度良好时还可稍

長一些)才晒印。因为長時間保存,膠会促使乳剂分解,以致像片上出現斑点。

在編制像片平面圖时,轉繪控制点或者制作硬底藍圖时,都要进行圖底的裱糊。裱糊的方法与像片相同,不过用的是繪圖紙,其底板一般是采用鋁板或膠合板。裱糊工作可以在白光下进行。

§ 10,7 像片的調色

一般像片均为黑白像片。有时为便于在像片上註記,需要將像片染成某种顏色。但染色只应该在有銀的地方并与銀量成比例的进行,而在白色的地方,应该仍旧是白的。这种染色,称为調色。

准备要調色的象片,应该曝光正确,充分的显影、定影和水洗。否則不会得出良好成果。

像片調色的方法很多,而目前最广泛采用的一种是將金屬銀变成有色的化合物或者將有色的化学葯品沉淀在金屬銀的上面。

因为金屬銀与大多数調色用的鹽类的的作用不良,故通常先用赤血鹽將金屬銀变成亞鉄氰化銀,使其容易与其它物質化合,例如变成溴化銀或碘化銀,因为后二种銀鹽都比金屬銀容易起反应。調色最通常是在兩盆溶液中进行,在第一盆做准备工作——漂白,在第二盆中才是真正的調色。但也有很多种是用單一溶液进行調色。

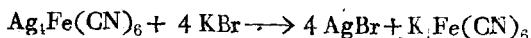
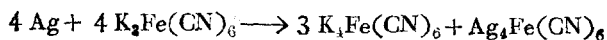
一般艺术攝影書上介紹的調色方法非常詳細,这里我們仅举一二种:

(一)棕色調色法

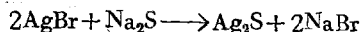
配方:

漂白液	{	鉄氰化鉀.....20克
		溴化鉀.....20克
		水.....1升
染色液	{	硫化鉀.....10克
		水.....1升

將已浸湿过的像片放入漂白液,則黑色影像漂白变为溴化銀:



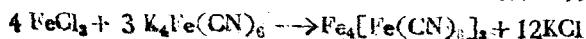
水洗五分鐘后再浸入染色液,此时便生成硫化銀而使影像变为棕色:



棕色調色还有一种直接調色方法,即將明矾与硫代硫酸鉀混合溶液加溫到40°—50°C;此时該溶液中会分离出硫来,利用这些硫与像片上的銀起作用而产生硫化銀,于是影像就变成棕色了。但这种調色法处理比較繁杂。

(二)藍色調色法

此法是利用鉄氰化鉀与鉄鹽起化学反应而成为普魯士藍的原理,其化学反应式如下:



其配方如下：

三氯化鐵.....	4克
草酸(結晶).....	4克
銹氧化鉀.....	4克
水.....	1升

上液配成后，將要調色像片放于其內，过10—15分鐘后，即染为藍色。

§ 10.8 非銀鹽晒像法

前面，我們所討論的都是利用鹵化銀像紙晒像。現在，我們來討論一种非銀鹽的晒像法，即鐵鹽晒像法以及全国測繪科学技术革新展覽会所介紹的無銀反光晒像法等。

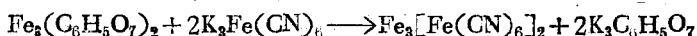
(一) 鐵鹽晒像法

鐵鹽晒像法就是利用某种具有一定感光性的鐵鹽溶液，塗佈于白紙上，經曝光后，受光部分在水中失去可溶性，而未受光部分則仍能溶于水。再經過冲洗之后即得影像。

鐵鹽的种类很多，目前采用的鐵鹽差不多均为綠色檸檬酸鐵銨。鐵鹽晒像法的配方如下：

I. 檸檬酸鐵銨.....	25克
水.....	60毫升
II. 赤血鹽 $[K_3Fe(CN)_6]$	10克
水.....	60毫升

將上二液在紅色或橙色燈光下混合，然后塗佈于白紙上，烤干后即成一种印像紙。此后，进行接触晒像，相应于底板的透明部分則受光而成为一种不溶性的滕氏藍 ($Fe_3[Fe(CN)_6]_2$)，而相应于底板的黑綫划部分則不受光而能溶于水，結果形成一張藍底白綫的負像(明暗与底片刚好相反)，俗称为藍圖。其主要的化学反应是：檸檬酸鐵銨經光量子作用之后，而形成檸檬酸亞鐵 $[Fe_3(C_6H_5O_7)_2]$ ，它再与赤血鹽 $[K_3Fe(CN)_6]$ 作用，而形成一种不溶于水的滕氏藍 ($Fe_3[Fe(CN)_6]_2$) (呈藍色的)。



在航測和制圖工厂中，很广泛的采用这种藍圖。不过有时候需要軟性复制品，有时候又需要硬的复制品。其硬軟程度可以調節檸檬酸鐵銨濃度来达成，濃度愈大，影像就愈硬。此外，在上列配方中，如加入0.1—0.5克的重鉻酸鉀也可以增强藍色，但会降低感光度，如果加入0.5克草酸或草酸鹽以及檸檬酸或檸檬酸鹽，則可增强感光度，但又减少光亮部分的潔白程度和降低保存性。

由于这种鐵鹽的光譜感光性，主要的是限于光譜中的紫外光和紫光部分(200—475毫微米)。因此，在进行曝光时宜利用日光或富有短波輻射的电弧或水銀灯等光源。

(二) 重氮化合物晒像法

此法能得到正像，而且比上面所說的要方便得多，目前差不多均广泛的采用它。

此法的基本原理就是將重氮化合物(如二苯氨对重氮硫酸鹽)中加R鹽物質，然

后涂布于有胶水的白图紙上而成。曝光后，受光部分的重氮化合物就会分解成一种无色而且不能再偶合的物质，而未受光部分则仍为重氮化合物和B盐。然后将它置于氨气发生器内，此时，在氨气内的重氮化合物就与B盐偶合而成为紫色，因而成为与底版相同的影象。由此而知，用此法晒图时，当底版为正象时则晒出的图亦为正象，当底版为负象时则得的图仍是负象。此法須用氨气燻之，故也称为燻图。

(三) 无銀反光晒象法

在总路綫的光輝照耀下，全国掀起了技术革命的高潮后，涌现出无数的新創造和新发明。无銀反光晒象法就是其中之一。

无銀反光晒象法是一种不必經過摄影的簡捷复制方法。所謂无銀亦就是非銀盐。而反光晒象是另一种接触晒象方法，它与一般的接触晒象不同。即在晒象时无銀感光片放在需要复制的原图紙上，然后光綫从上面照射，使它通过感光片而达原图。也就是說感光层各部分都要受到光的照射。但是由于原图是黑綫白底，因此光綫到达原图后，黑色綫划处吸收了光綫而空白处则反射了光綫。这样在一定曝光時間内，感光片上相应于原图空白处的曝光量就大于黑綫条相应处的曝光量。因为該二处的曝光量不同，所以經過适当的摄影处理后便可显出影象。这种利用反射光晒象的方法称为反光晒象法。

无銀反光晒象的感光层是明胶与重鉻酸鉍的混合物，将混合溶液涂飾于清潔的玻璃上(50×60厘米約涂300毫升)并烤干之即成。涂布和烤干工作可在烤版机上进行。

干燥的底片經反光晒象后，在光的作用下会发生硬化，硬化程度与曝光量成正比。当感光的底片浸入染料溶液(即显影液)中，由于胶質膨胀吸收溶解于水中的染料，因而胶膜染色。胶膜膨胀大的吸收染料多而染色深，于是曝光量少的，即硬化度小的胶膜就染色浓，而曝光量多的，即硬化度大的胶膜染色淡。这样便得到了正象。

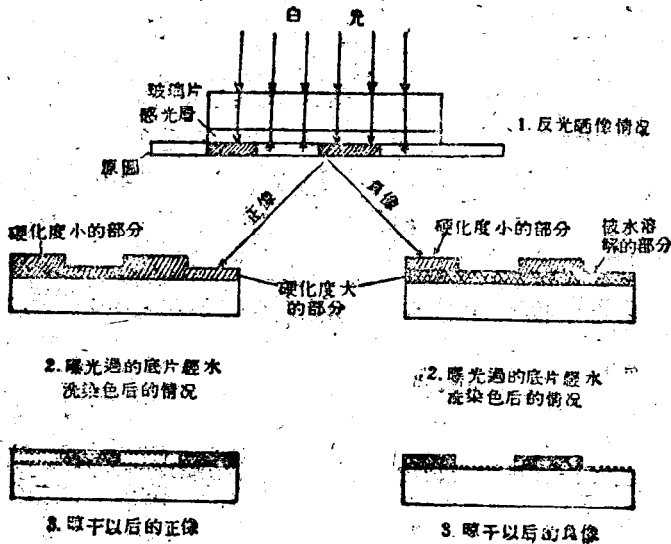


图10-14. 无銀反光晒象过程略图

由于一次染色所得色调很淡，因此，需要水洗后再放入第二染色溶液进行染色。

假如，反光晒象时，曝光时间很短，使得黑线条部分的胶膜由于受光太少而不起硬化作用。而相应于原图空白处的胶膜已足够受光，产生一定程度的硬化。将这样曝光较少的底片浸入染色溶液后，与原图黑线条相应的胶膜便因未硬化而溶解于水，也就是不能染色。而与原图空白处相应的胶膜，则吸收染料而染色。这样便得到了负象。现将其构象原理同略图说明如图 10-14。底片从染色液取出后应浸入坚膜溶液中，经坚膜以后，再在药膜面上加一层 2% 的克洛丁溶液保护药膜。

上述晒象方法，既可得到正象，又可得到负象。而且它不必通过摄影。因此所需设备简单，成本低廉。在以多快好省建设社会主义的今天，它是一个值得推广的先进复制方法。

第四部分 彩色攝影

第十一章 彩色攝影

§ 11.1. 色視覺理論和色學概述

利用彩色軟片攝影，使景物的各種顏色通過化學加工後重現於像片上，這是無數科學家長期辛勤勞動的成果，也是許多科學部門綜合發展的結果。彩色被攝體的重現問題，在二百多年以前已引起人們的注意，隨後也創造發明了許多攝影工具和提出許多新的彩色攝影方法，但是這些特制的工具和攝影方法，使操作技術繁復，從時間和經濟價值上看均不實用；故長期以來未廣泛應用於實際工作中。直至近二十年來，出現了彩色三層軟片，無需整套特制的攝影設備，並使繁復的操作技術簡單化以後，彩色攝影才得到廣泛的應用。

過去出現的很多種彩色攝影方法，雖然技術操作各自不同，但是它們都是以人眼的色感要素的特點為理論基礎的，即“色視覺是由三種錐體要素所構成”，這是早在 1756 年蘇聯學者 M.B. 羅蒙諾索夫確定的色視覺理論。這理論說明人眼感受到不同的顏色，是由三種色感要素組成。人眼的三種顏色的感受器官是錐體神經細胞，錐體神經在光的作用下使錐體神經受到刺激，並傳至大腦，使大腦產生色的感覺。三種錐體中，第一種錐體對紅光感受最靈敏，第二種錐體對綠光感受最靈敏，第三種錐體對藍光感受最靈敏。如以波長為橫軸，視覺值為縱軸，可繪出三條曲線表示三組錐體的光譜刺激曲線。

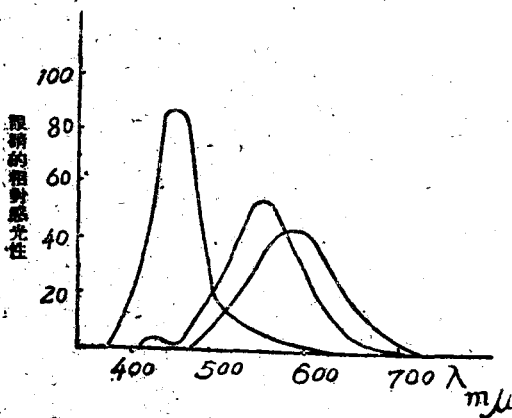


圖 11-1. 眼睛色感要素的光譜感光性

當我們看到綠色樹葉時，是第二組錐體被刺激得最厲害，因此感覺到綠色，或者當

如果三種錐體神經細胞受到同樣程度的刺激，那麼，人眼感受到的便是白光（當刺激較強時）或灰色光（當刺激較弱時）；刺激愈弱，則灰色的色調愈暗。

當三種錐體受到刺激的程度不相同時，人眼能感受各種不同的顏色。

若其中一種錐體的刺激愈佔優勢，則所得到的顏色愈純粹，倘使有二種錐體同時受到刺激，而後增補第三種錐體的刺激，則所得的顏色會逐漸變成稍帶白色的色調，而失去顏色的純粹性。

我們看到黃色物體時，由於感紅及感綠兩組錐體同時被刺激而發生色感現象，使我們看到物體是黃色。如果再在黃色中增加藍色成分，則會感覺黃色減弱，而趨向帶白色的色調。在我們日常生活中，周圍環境的顏色非常複雜，各種色光射入眼簾，使人眼三種錐體受到不同程度的刺激，傳達至大腦後，看到各種不同的顏色。1806年為了証實這個理論的正確性，曾進行過生理解剖，解剖後証實這種錐體是確實存在着的。

在彩色攝影範圍內，除了上面所敘述的色視覺理論外，還需具備色學的基本知識，色彩的特性。

所有一切顏色都可分為“彩色”（彩色色調）和非彩色（消色色調）；紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫為彩色（或稱彩色色調），白色、淺灰、深灰、黑色為非彩色（或稱消色色調）。

每種彩色都有三個特性，即“彩色色調度”、“飽和度”、“明亮度”。

彩色色調度，用來說明某種彩色色調與消色色調之間不同之處，它不用粗糙的顏色名稱（紅、橙、黃……等）表示，而是以光譜中具有該種彩色的單色波長表示。

飽和度是說明顏色的純度。在光譜中的顏色是標準色，其中不夾雜白色、灰色、黑色，正達飽和狀態。一般的彩色其純度總不及光譜上的標準色那樣純潔，總是夾雜着一些消色色調。例如，某色的飽和度為75%，那就是說這種色光賦予我們的感覺就像75%的該種色光加上25%的白光後所產生的感覺一樣。我們通常以光譜上的色光作為“1”。

明亮度，即色調明暗的程度。在整個光譜中人眼的感受是：藍、●、品紅為暗色，黃、綠、青為淺色；暗色明亮度低，淺色明亮。從消色色調上看，淺灰、灰色則明亮，深灰、淡黑則暗淡。按光譜上幾種標準色的明暗度排列，並與消色色調比較得下表：

	黃	淺藍	紅	品紅		
白	淺灰	灰	深灰	淡黑	黑	
		綠	藍	紫		

从上表知，任何一種顏色都可以找到明亮度大約與其相同的某一種消色色調，消色色調的明亮度可用反射係數的大小來表示，因此可用消色色調的反射係數來區別彩色色調在明暗上的區別。

消色色調只須用明亮度這個量即可區分其色調，然而彩色色調僅僅用明亮度這一特性，尚不足以說明顏色的全部特點，必須增加飽和度和彩色色調度這兩個量才能將彩色的特性和特征全部表達出來。

眼睛對任何一種顏色所生的感覺，都是由各色視覺要素刺激的程度而累積起來的，因此，要攝影每一種顏色，則首先必需將顏色分解，也就是確定各基本刺激劑的分量，然後，按相應比例的原色組合，也就是綜合出一種顏色。所以，分解顏色和組合顏色是所有的彩色攝影法的基础。

§ 11.2 加色混合和減色混合

根据眼睛感光要素的特征，我們可以利用視神經末梢所特別敏感的三種顏色的混合來取得任意一種顏色，這三種顏色（藍色、綠色和紅色）就叫做原色。如果將原色按一定的比例混合起來，那末，當神經末梢受到同樣程度的刺激後，這三種顏色就混合呈白色。如果是任意兩種原色混合，則得到中間色（圖 11-2）。如以公式表示之，則為

$$\begin{aligned} \text{紅色} + \text{綠色} &= \text{黃色} \\ \text{紅色} + \text{藍色} &= \text{品紅色} \\ \text{綠色} + \text{藍色} &= \text{青色} \end{aligned}$$

如果被攝物體不是黑白物體，那末，當按物體上原有的原色的比例恢復原色後，即可得到與物體相似的彩色影像。在任何的彩色攝影中，第一步都是要確定某種混合色中所含的每種原色之數量。

雖然現在已有各種專門的分析顏色用的儀器，但在攝影上，分析顏色只是採用原色濾光片，即將同一被攝物體分別通過藍色的、綠色的和紅色的濾光片攝影三次（見圖 11-3），根據在物體的反射光中幾種原色光譜帶內光綫的數量，在負片上就會得到或大或小的黑度，而且在這三張負片上，其影像的形狀皆相同，但黑度的大小不同。如果將這樣的三張分色負片制成三張透明正片，並仍分別的通過攝影時所曾用過的三塊濾光片，將其投影在承影板上，使這三種正片的影像相互疊合，那末就可得到物體的天然色影像；因為每張正片只能讓彩色攝影物體所反射的一種相對數量的原色光綫通過。

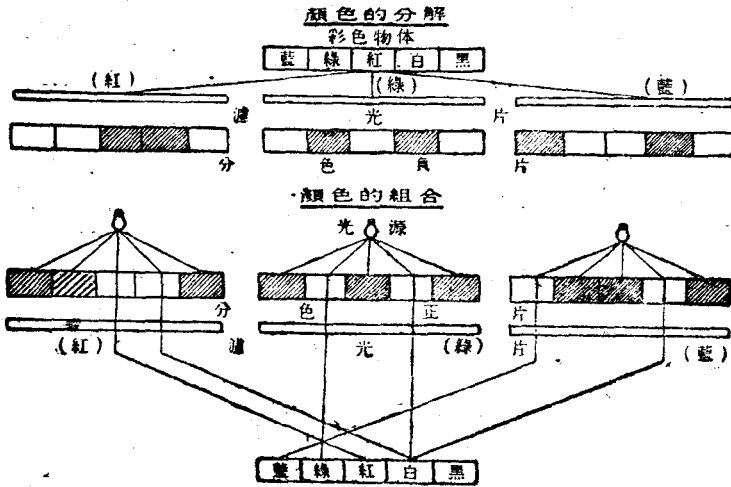


圖 11-3. 加色法獲得彩色影像的圖解

利用原色相加而獲得彩色影像的這種方法就叫做加色混合。

上述的彩色攝影法甚為複雜，因此，這裡僅是拿它來作為例子，以便說明用加色混合法製成彩色影像的原理，而在實際上是採用三色透明干板攝影法，此法與上述的稍

有不同。这种用三色透明干板的方法在彩色摄影中曾经广泛的运用过一个时期，直到三层彩色软片出现，才被淘汰。

现将三色的透明干板作以下简略的说明。利用粘性的物质，把染有三种原色的微小的透明分子所组成的单层三色透明板黏到玻璃上去，但是，这时所取的蓝色、绿色和红色分子间的比例要能使得其混合后会产生中性的灰色的色调。然后在透明板的上面，涂上一层特别的保护层，使得处理溶液不透过去。此后，再在该保护层的上面，涂上一层感光乳剂层。在摄影机中，这种干板的玻璃而是向着物镜安放，因此，能通过三色的透明板进行摄影（如图 11-4）。

摄影后，用逆转显影法显影之，这样就能在透明板上得到黑色的正像。此时，该正像的每一部分仅能透过曾作用于乳剂层上的那一种色光，而透明板上另外一些颜色分子，则为该部分上的金属银所遮掩。例如：若物体为红色，那末，在第一次显影后，乳剂层上的卤化银就只有在透明板上红色分子的下面还原，并且氧化时，该银便溶解，而显出透明板上的红色要素。在未显影的卤化银受光和经过第二次显影后，金属银便会遮盖住蓝色和绿色的分子，因此观察时，像片上的红色影纹就显出是红色的。其他的各种颜色的出现，亦是同样道理。

到目前为止，上述之取得有色影像的方法，就恢复色调的质量方面来说还是被认为是一种良好的方法；然而，该法有一些缺点，其中主要为：它不能制成像片的复制品。

除了加色混合法以外，还可以利用其他一种方法来取得任意一种颜色，例如，假如需要取得蓝色，那末，就可由白色中除去其他两种颜色，即绿色和红色，假如需要取得红色，则必须由白色中减去蓝色和绿色；假如需要取得绿色，则就要从白色中减去红色和蓝色（见图 11-5）。这种情况，可以用下列式子表示之，

$$\text{白色} = \text{蓝色} + \text{绿色} + \text{红色}$$

$$\text{a) } \text{蓝色} = \text{白色} - \underbrace{(\text{绿色} + \text{红色})}_{\text{黄色}}$$

$$= \text{白色} - \text{黄色}$$

$$\text{b) } \text{绿色} = \text{白色} - \underbrace{(\text{蓝色} + \text{红色})}_{\text{品红色}}$$

$$= \text{白色} - \text{品红色}$$

$$\text{b) } \text{红色} = \text{白色} - \underbrace{(\text{蓝色} + \text{绿色})}_{\text{青色}}$$

$$= \text{白色} - \text{青色}$$

由上列式子可写成，

$$\text{a) } \text{白色} = \text{蓝色} + \text{黄色}$$

$$\text{b) } \text{白色} = \text{绿色} + \text{品红色}$$

$$\text{b) } \text{白色} = \text{青色} + \text{红色}$$

若兩種顏色混合（相加）后即成白色，則我們稱這兩種顏色為互補色。白光的光譜可以分為許多對互補色的色光，因此，可取得許多對互補色。但是，對彩色攝影來說，僅需要研究那些與原色配合後，即成白色的互補色，即

原色： 藍色 + 綠色 + 紅色 = 白色

互補色： 黃色 + 品紅色 + 青色

白色 - (黃色 + 品紅色 + 青色) = 黑色

三種原色的色光混合即成白色光，而當白色依次通過染有互補色的介質時，即成黑「色」。因此，不用原色的相加法，而用白色減去相應的互補色的方法，亦可構成彩色的影像。用白色減去互補色法取得顏色而構成彩色影像的這種方法，就叫做減色混合法。由於這種方法在彩色攝影中很容易實現，所以曾得到廣泛地應用。圖 11-6 即為用減色法構成彩色影像的圖解。

為了便於研究起見，現在我們取一個由原色所組成的，並也有黑色和白色部分的景物，首先將這種有色物體分別通過三塊不同光譜帶的濾光片進行攝影，並將這樣所攝得的三張分色負片分別製成黑白的透明正片，然後，將這些部分的正片，都染成互補色，並將銀溶解掉。這樣一來，便得到三張有色的透明正片。如果將這種有色的透明正片放在白紙上，並按照影像的輪廓使其彼此精確的重合，那末，便得到與景物顏色相同的影像。圖 11-6 中的各個箭頭，分別表示各種光線的投射方向。例如：藍色光、綠色光、紅色光。如果注意的觀察該圖，便可以很容易的了解，如何由白色光相減法，最後使得攝影影像的顏色與被攝物體相同。

不論用加色法或者用減色法來攝取彩色影像，都必須應用藍的、綠的和紅的濾光片分別的來攝得三張負片。這種負片就叫做分色負片。

獲得分色負片的方法有幾種。其中以上述之逐次通過三張濾光片的攝影法最為簡單，但是運用此法不能獲得瞬間的攝影影像。

第二種方法要應用專門的分色攝影機進行之。在這種攝影機上，利用半透明的平面鏡，將光線分解為三個光束，其中每一光束皆是通过相應的濾光片而射到感光材料上去。

圖 (11-7) 即為彩色攝影用的這種分色攝影機的略圖。

但是這種攝影機非常複雜，且很笨重，因而，使用起來很不方便。

除了運用上述二種方法可以取得分色負片外，利用三種具有不同感色性的攝影材料同樣也可取得分色負片。如果取三張軟片，其中一張對藍光最靈敏（未增感軟片），另一張對綠光最靈敏（正色軟片），第三張對紅光最靈敏（全色軟片）。

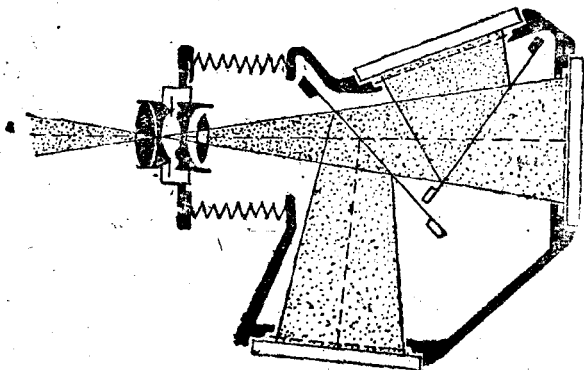


圖 11-7. 分色攝影機

然後將其一起疊放在暗匣中去，那麼，在攝影和分別顯影以後，便會得到三張分色負片，因為正色片和全色片對藍光也具有光譜的感光性。所以必需在未增感軟片的背面按照攝影時光線的射入方向放一塊黃色濾光片。這種軟片組合法曾被採用過，但該法有一個缺點，即其所攝的第二張分色負片，特別是第三張負片，不夠清晰。

不管三張單獨的分色負片是如何使用，其處理過程總是很複雜的，特別是當其用來製成一張彩色影像時，其處理過程更為複雜。然而，用三張分色負片晒印彩色攝影影像的幾種方法，實際上現在還是採用着（如三色套色印刷）。

§ 11.3 現代的彩色攝影材料

以上敘述了各種彩色攝影方法的基本原理，但由於這些方法的各個過程都非常複雜，而且所需要的時間也很長，所以都未廣泛運用。

近十年來，已經製造了一種三層的感光材料，按減色法進行三色攝影，利用這種感光材料，可以使取得彩色攝影像片工作過程大大地簡單化。這種材料的結構，類似於從前彩色攝影所採用的三張軟片的疊合片。圖 11-8 為現代的三層的軟片和像紙的構造略圖。

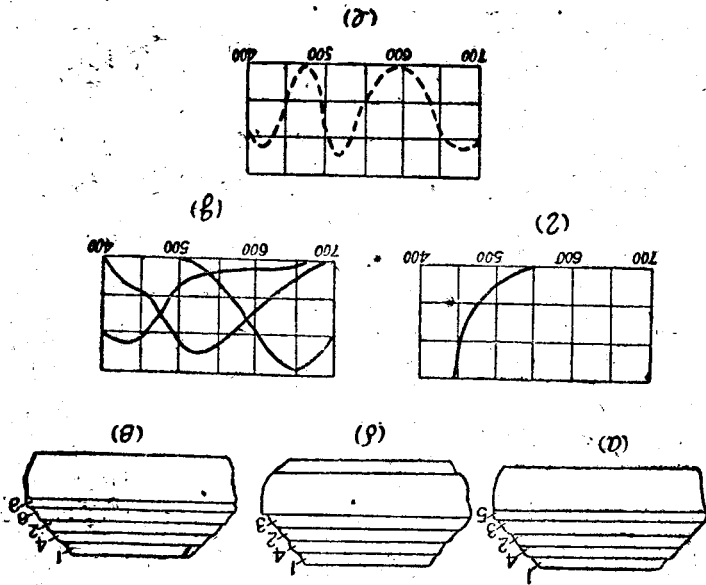


圖 11-8. 多層軟片和像紙的結構略圖

a)可逆轉的軟片；б)負性軟片和正性軟片；в)像紙；г)濾光層的吸收作用；
 n, e)乳劑層的光譜特徵；——表示負片層(n)……表示正片層(e)

- 感光層：1) 對光譜中的藍色帶感光，顯影後染成黃色
 2) 對光譜中的綠色帶感光，顯影後染成紅色
 3) 對光譜中的紅色帶感光，顯影後染成藍綠色
- 補助層：4) 黃色濾光層
 5) 反光層
 6) 中間明膠層

圖(11-8)a表示可逆轉的彩色軟片的結構。在賽璐珞上為一層淡灰色銀的反光層5，在該層的上面是全色的乳劑層3，其上正是色的乳劑層2，最上面的則是未增感的感光層1。在正色的乳劑層和未增感的感光層之間，有一膠質銀所組成的黃色濾光層4。

圖11-8b表示負性軟片的結構。這種軟片的結構與上述軟片的結構之區別，僅在於其反光層是綠色的，並且是塗在賽璐珞的反面。正性軟片的結構也完全是如此。像紙與軟片在結構上的區別，除乳劑襯板是紙基外，僅在於沒有反光層。

在攝影時，只有藍色光綫作用於上面的未增感乳劑層（見圖11-9）。因為該層對其他的色光沒有感光性；而此時，那些未為最上層所吸收的藍色光綫，會被黃色的濾光層阻攔住，中間一層是正色乳劑，因此，僅是光譜中間帶的光綫（主要是綠色）作用於該層上。最下面的一層僅能與紅色光作用。經過中間一層的綠光，不會作用到下面一層上，因為全色乳劑對綠色的感光性極少。

每層乳劑都有6—8微米的厚度，濾光層的厚度為2—3微米。因此，彩色軟片的總厚度並沒有大大的超過尋常的黑白軟片的厚度。圖(11-8a)中的實綫是表示每層負性軟片的光譜感光度，各層都有相當寬的光學增感帶，並且有些互相重疊。圖(11-8b)中的虛綫表示正性彩色軟片的乳劑層的光譜感光度，這種軟片與負性軟片的區別，在於其每一層的光譜感光度限制在比較狹窄的光帶內。

彩色物體的攝影，可以使用三層軟片在不同的條件下進行，即可在日光下或人工光下進行。

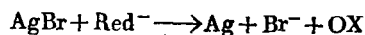
日光和人工光的色溫是不同的，而乳劑層光譜的總感光度，正如感光測定那一章中曾敘述過的一樣，是取決於光源的光譜成分。因此，若在不同的光源下使用同一種三層軟片來攝影，則在顯影後每層所得的銀粒數量就不會相等，這樣每一層中染料含量由於攝影的光源色溫不一致也會不同，結果就會產生色調的均衡性問題。為了要消除這種差別使彩色色調平衡，故製造了二種三層負性軟片，一種是供日光下攝影用，另一種供人工光下攝影用；這兩種軟片每層的感光度根據攝影所採用的光源的光譜成分分別選擇之。

供日光下攝影用的軟片，蘇聯出品的以字母 ДС 表示，而供人工光下（半瓦特的燈）攝影用的軟片，則以字母 ПС 表示之。

圖(11-8c)是表示黃色濾光層的光譜特徵。

利用三層彩色軟片取得彩色影像的方法有許多種。茲將其中應用於空中攝影的幾種說明如下：

如果用普通的顯影液將三層軟片顯影，則所得的是黑色影像。因此，要得到彩色影像，就要應用專門的顯影劑。彩色軟片的顯影作用，仍然是按照利用普通顯影液時的反應式進行。即：



彩色顯影時，所以必須採用專門的顯影劑，是因為其氧化產物具有能與該乳劑層中

的特殊物質發生作用。在彩色軟片的每一層乳劑中，都加有一種無色的物質，這種物質即稱為偶合劑。這種偶合劑會與顯影劑的氧化產物作用，而結果構成染料。在最上一層對藍光有感光性的乳劑中所加的偶合劑與顯影劑的氧化產物作用後，即產生黃色染料。加在中間一層內的偶合劑與顯影劑的氧化產物作用後，則產生品紅色的染料；而下面一層內的偶合劑與顯影劑氧化產物作用後，則會產生藍綠色（青色）的染料。

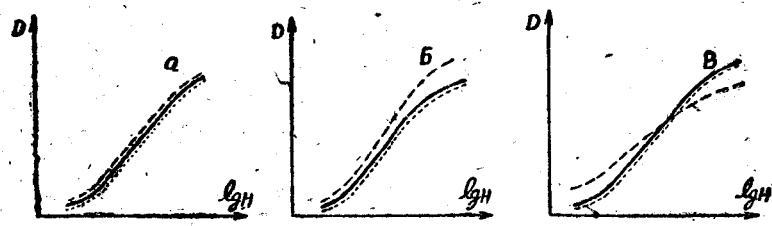
- 因此，顯影後，每一層都會被染成會作用於該層上的顏色光線的互補色，即：
- 上層對藍光有感光性的被染成黃色；
- 中層對綠光有感光性的被染成品紅色；
- 下層對紅光有感光性的被染成青色。

當染料形成以後，將軟片放到赤血鹽和硫代硫酸鹽的溶液中去處理，以便除去顯影時分離出來的金屬銀，而留下由顏料所構成的影象。這裡應該指出很重要的一點，即加入每一層中的偶合劑和每一層內所形成的染料不應該從一層擴散到另一層中去。

在每一層內所形成的染料數量以及在入射光綫下觀察其合成顏色，兩者都應該是適用於所謂色調平衡。如果每一乳劑層的光感度都選擇得很正確並且軟片的處理也按規定進行，那末，物體的中性灰色部分在彩色負性軟片上的表達一定會與其他黑白軟片上所表達的一樣，而沒有任何彩色色調。但是通常很少能保持這樣精確的平衡。

為了確定彩色攝影的特性，需要進行三層軟片的光感測定實驗。該試驗就是，在感光測定計上，用標準的光源照明所試驗的軟片，並且按照規定的方法來處理它，所得的感光圖片，應放到黑度計上去量測。三層軟片的光感圖片的光學黑度是由三種不同的顏色吸收了白光而得來的；因為每一色層都要吸收一定光譜帶中的某一部分光綫（三分之一）。因此，應依次通過三個濾光片（藍色的、綠色的和紅色的）來量測彩色感光圖片的黑度；確定每一層染料能透過這些帶的光綫的程度，然後再按構成黑白軟片的光感圖片的特性曲綫法來構成彩色三層軟片的特性曲綫。這樣就可獲得三條表示試驗軟片上三層乳劑之彩色攝影的特性曲綫。在最好的情況下，這三條特性曲綫應該相合（圖11-10,a）；也就是說，這三層乳劑應該是具有相同的光感度和反差系數。

由於製作三層彩色攝影材料的技術還不夠完善，因此，通常是乳劑層的反差系數相同，而其光感度卻不同。乳劑層的光感度不等，即分色負片的黑度不等，這一點在印象



- a) 高質量的軟片
 - b) 質量尚好的軟片
 - c) 質量不好的軟片
- 青色層
 - 品紅層
 - 黃色層

圖 11-10: 彩色軟片的特性曲綫

过程中还可以改正。

当彩色软片的三层乳剂的感光度和 γ 值皆不相同(圖 11-10 e), 色调的平衡差就不能修正, 因为此时只有在相应于三条曲线的交点的一个曝光量时, 彩色负片上才能得到灰色的黑度。

因此, 当选择软片及处理软片时, 必须设法使所获得的所有三层乳剂的反差系数都是一样。这里应该注意到, 当用三层感光材料摄影时, 某些彩色物体由于彩色乳剂层的光谱感光度和组成的染料的颜色不适合于眼睛的色感要素, 其色调不能正确的表达出来。

§ 11.4 利用彩色摄影材料进行摄影

三层软片有一个很大的优点就是它可以在黑白软片摄影用的摄影机上摄影。

空中摄影应该采用供日光下摄影用的负性软片。

在选择摄影机和计算曝光时间时, 应该考虑到, 目前现代的负性三层软片尚存在着感光度不足的缺点。通常, 这种软片的总感光度是用一种与黑白软片感光度相比较的方法来确定的, 且其变动范围很大, 约为 10—20(ГОСТ), 以上最低的数字是指单张软片和逆转软片而言的。这种软片, 如果保存得很久而超过了通常的有效时间, 则其感光度可能变得更小。也正由于彩色软片的感光度很低, 因此在空中摄影中, 就必须应用 1:4.5 至 1:5.8 的强透光力物镜, 并要在照度值最大的时间内(11—15时)进行摄影。由于我们要求所有的航摄负片, 其色调必须一致, 以便于利用它来进行接触晒像, 因此, 就应该估计日光光谱成分的变化。正如空中摄影一章所述, 当太阳的高度超过 20° 时, 日光光谱的成分近似不变; 但当太阳的高度较低时, 则负片的色调和透明正片晒像的条件就要改变。另外在彩色空中摄影中, 最好是应用常角物镜, 因为宽角物镜会使像面的光照极不均匀, 摄影后使所得到的彩色负片也不均匀, 尤其是欲在彩色晒像时达到均匀, 则比起黑白负片晒像时要复杂得很多。因为在彩色晒像时, 不仅需要运用遮光法来使负片的黑度由中心到边缘很均匀, 而且还要使彩色色调平衡。

彩色负片上有显著的散光影响, 这主要是由航空摄影机物镜所引起的。在黑白负片上, 散光的影响表现为反差及阴暗部分影纹的显露均减少, 但在彩色负片上则其表现为颜色的饱和度减少。因此, 航空摄影最好是运用加膜物镜的航摄机。

在彩色空中摄影中, 通常不采用滤光片, 因为这样能部分的抵消掉三层软片感光度较低的缺点。黑白软片用的滤光片在彩色摄影中不能使用, 因为这种滤光片会吸收光谱蓝色带中之光线; 如果运用它的话, 则完全消除上层乳剂的作用, 而结果破坏了分色。但为避免大气濛雾的影响, 在彩色空中摄影中可以运用无色的爱斯基林滤光片(只能吸收紫外光)和淡黄色的滤光片(地面摄影用)。少量的浅蓝色濛雾, 它对彩色影像的质量不会起特别显著的影响, 因为它只能影响上层乳剂, 即只能影响负片总黑度的 $\frac{1}{3}$, 且由于软片上的黄色滤光层会吸收蓝光, 故它对软片的下面二层乳剂不起作用, 至于软片的上

層乳劑上因朦霧影響而造成的青藍色，則可在印像過程中適當的選擇濾光片法來消除之。直到目前，有關彩色空中攝影中避免朦霧影響的方法問題尚未解決。因此在彩色空中攝影中，為了避免朦霧的影響，不得不要尋找其他的方法（例如：運用偏振片）。

正確的確定曝光量對於獲得高質量的彩色航攝負片來說，比之對於獲得高質量的黑白航攝軟片更為重要。在彩色空中攝影中如果曝光時間變化 $\pm 50\%$ ，則就會顯著的影響到色調的平衡，所以在空中攝影中，最好是運用具有接近於眼睛色感的光譜特征的光電曝光計。若用現代的航攝軟片，攝影時間為10—15小時。如果用《阿托麥塔爾》物鏡及其最大的有效孔徑（1:4.5）則曝光時間約為 $1/10$ — $1/100$ 秒。淺色航空景物所需要的曝光時間顯然應比深色的（例如：森林地區）為小。若有輕雲，則它不僅會影響到照度，同時也要改變光的光譜成分，關於這一點，在確定曝光量時也必須要估計到。

在地面攝影中，消除朦霧影響問題較易解決，但由於被攝物體以及光照條件之不同致使攝影條件變得異常複雜，而結果產生了許多其他的困難。

上面已經提到過，彩色負性軟片有二種，其中一種是供日光攝影用（這種軟片按色溫為 5000°K 所設計）另一種是供人工光照下攝影用（用於色溫為 3000°K 的光下）。

當被攝物體在日光照明下，則必須估計到直射陽光和散射陽光光譜成分間的區別很大；在散射陽光的光譜成分中，大多數的光線為藍光，所以其所攝得的彩色影像將成淺藍色，此外，還必須要使照明物體的各個光源其光譜特征近似相等。因此，在攝取日光照明下的室內物體時，決不能應用附加光照，如半瓦特燈的光照等，否則在負片的不同部分傳色就不相同，而且不能在印像時將其改正。其次必須力求照明攝影物體光線的光譜成分完全相同。通常為黑白攝影影像顯示立體所必需的陰影，其在彩色像片上會呈另一種色調，結果可能使該像片完全無用。還必須估計到背景可能會反射出各種有色光線，而使所攝的物體產生不良的色調。總的來說，必須注意到，在彩色攝影中，出現了一個新的構像因素——顏色；該因素使得有關黑白影像構成因素之概念起了很多的变化，並且也補充了這些概念。

雖然，三層的負性軟片是攝得彩色航空攝影的主要感光材料，但在特殊情況下（例如：偵察航空攝影）也運用逆轉的三層軟片來直接取得彩色正像（當然，只有一分），以避免相當複雜的正片過程。

逆轉三層軟片感光度較低而且寬容度較小，故攝影時更要求曝光時間的正確；如果曝光時間選錯了0.5倍，則影像的色調會起顯著的變化。在航攝像片上影像的色調沒有必要完全近似於物體，因此，可以運用二層負性軟片。其結構為：上層是正色或全色層，下層是紅外色層。顯然，利用這種軟片所攝得的負片及正片。其色調是不適應於物體的色調的，但是這種“色變”（影像）有一優點，即可以在像片上發現出眼睛所不能區別出來的細節。這種軟片很適宜於森林、丰收研究、路線與新路以及水上建築物等的航空攝影之用。

§ 11.5 彩色攝影處理

三層負性、正性軟片以及像紙的攝影處理包括以下幾個主要過程：

1. 顯影：此時形成金屬銀和彩色影像。
2. 漂白：漂白的目的是為了將顯影時所形成的金屬銀和黃色濾光層中之膠質銀變成能溶于硫代硫酸鈉定影液中的化合物。

3. 定影：溶去銀鹽而留下僅由染料組成的影像。

在以上每個過程結束後，都需要將軟片放到流水中去水洗。

逆轉三層軟片的處理更為複雜，它尚需多加兩個過程即：

1. 第一次顯影：使用普通黑白顯影液。顯影後只是金屬銀構成的影像。
2. 曝光：使未顯出的鹵化銀感光構成潛像。
3. 第二次彩色顯影：此時構成金屬銀和彩色影像。
4. 漂白：該過程與負性軟片相同。
5. 定影：此過程亦與負性軟片相同。

三層軟片之正像與負像的處理過程見圖(11-11)。在該圖中已將獲得彩色負片以及用正性軟片獲得彩色透明正片的概況表示出。利用像紙晒印正像的過程也是如此。用逆轉三層軟片獲得彩色影像的過程見圖11-12。

茲將有關幾種主要的三層感光材料，在各個處理過程中的時間與溫度列舉如表(11-1)。

表11-1

過 程	處 理 時 間 (分)				溫 度
	負 性 軟 片	正 性 軟 片	像 紙	逆 轉 軟 片	
黑白負像的顯影	—	—	—	35	18° ± 1°
水 洗	—	—	—	30	15° ± 2°
曝 光	—	—	—	5	
彩 色 顯 影	6	11	3	11	18 ± 1
水 洗	15	—	10	30	15 ± 2
水 停 止 液	—	2	5	—	18 ± 2
水 洗	—	15	—	—	15 ± 2
○ 白	5	5	5	5	18 ± 2
水 洗	5	5	5	5	15 ± 2
水 定 影	5	5	5	5	18 ± 2
水 洗	20	20	10	20	15 ± 2
總 計	56	63	48	146	

由該表可以看出，彩色感光材料的處理是很複雜的，因此在空中攝影中要廣泛應用受到一定的限制。例如：由於處理時間很長，使得難以迅速的取得像片；又由於要保持

准确的处理温度，造成了在野外条件下处理的许多额外困难等。除了上述的复杂情况以外，在处理航摄像片中，由于航空景物的反差在不同的地区会发生强烈的变化，因此必需将负片显至不同的反差系数值，这样在摄影处理的时间与温度上和标准的有些出入。这种不按照标准时间、温度来处理，是能够弥补反差强烈变化的缺点，但是也应该考虑到这样会破坏影像的色调平衡。

现将上下两层乳剂层中的影像反差的变化列于表 (11-2)。

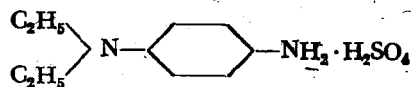
表 11-2

显影过程中变动的因素	显影时间	上层乳剂与下层乳剂中影像反差	
		上 层	下 层
显影液的温度:			
18°	6 分	1	1
25°	2 分 45 秒	1	0.6
显影液中溴化钾的浓度			
2.5 克/升	6 分	1	1
0	2 分 10 秒	1	0.5
显影剂的浓度:			
1.5 克/升	10 分	1	0.7
2.75 克/升	6 分	1	1
4.5 克/升	30 秒	1	1.8

由表11-2可知：所选取的显影时间应能使上层乳剂的 γ 等于1，并且在该条件下，只有当显影温度为18°C而显影时间为6分钟时，下层乳剂的 γ 值方能等于1。

彩色感光材料的显影剂为对苯二氨的二种诱导物：

1) 二乙基对苯二氨硫酸盐：

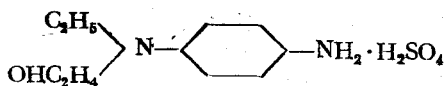


该化合物是淡黄色的或灰色的结晶粉，易溶于水，其次由于该化合物是盐状化合物，所以一遇到碱类，它就会从溶液中分离出难溶于水的碱，因此，决不能用这种化合物来制成浓的彩色显影液。

另外含有对苯二氨的显影液或者这种显影剂的本身作用到皮肤上，则皮肤上就会起水泡。所以在彩色负片显影中两手必须戴手套。此外在工作完毕以后，应该将手放到5%的醋酸溶液中浸洗，因为醋酸能将这种显影剂变成易于溶解的盐。

不论彩色的负片或正片显影皆可采用这种化合物。

2) 一羟代二乙基对苯二氨硫酸盐



这种显影剂的外部形状与各种特性皆与上述的一种相同。不过他对皮肤的作用却较

前者弱得多，其次，由于該显影剂所具有的活度比前者小，故适用于正像显影液中。

$(\text{NH}_2\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ (羟基氨硫酸酯合物) 或 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ (羟基氨鹽酸酯合物) 皆为白色或淺灰色的結晶体，而且易溶于水。在彩色显影液中，要加入这种葯剂作为保存剂来加强硫酸鹽的保护作用，因为彩色显影液中所采用的硫酸鹽为量極小。若其中硫酸鹽濃度很大，就会降低彩色显影时所产生的染料数量。

在彩色显影液中，要加入軟水剂，以便將控制水硬度的碳酸鹽变成易于溶解的結合物。例如六偏磷酸鈉(NaPO_3)₆。

配成彩色显影液所用的其他葯剂皆为通常处理黑白感光材料所使用的無机鹽。

彩色显影液中大部分葯剂的含量都很少，因此，必須使用非常純淨的化学葯品。因为雜質会减少显影中主要葯剂的濃度，而結果使显影的速度变慢，并且，某些雜質还会促使形成有色朦翳。

負性軟片的处理

显影液的成分

A	}	羟基氨鹽酸酯合物	1.2克
		二乙基对苯二氨硫酸鹽	2.8克
		水	到 500毫升
B	}	碳酸鉀	7.5克
		無水亞硫酸鈉	2.5克
		溴化鉀	2.5克
		水	到 500毫升

A 和 B 两种溶液需混合使用之，并且需將 A 液倒入 B 液中。

配制这种显影液，最好是使用蒸餾水或普通的水加入軟水剂，因为这样可增大显影液的保存作用。

显影过程結束以后，即为水洗过程，乳剂中溴化鉀会很快地被洗去，但是碱性显影剂要慢慢的才能洗去，因此在水洗过程中，会产生繼續显影及朦翳增大的現象。在很好的換水条件下，水洗时间为15—20分鐘，其次，水洗的溫度也很重要，因此若水溫很低，則不能很快洗去显影液，若水溫很高，則繼續显影的現象会进行得更迅速，結果朦翳显著增大，所以表(11-1)中所列举的水溫是最适宜的。我們应按照規定来进行水洗。如果將負片浸入酸性停止液中去中断显影，則水洗时间可以縮短，因为显影剂在酸性停止液中会变成易于溶解的和易于水洗掉的鹽，但是这里必須注意，如果停止液的酸性过强，則它会局部的破坏乳剂的染料。

显影之后，在乳剂層上，除金屬銀和染料所組成的影像外，还有未还原的溴化銀，关于这些金屬銀和溴化銀，以及黄色濾光層上的膠質銀都必須除去。

首先，將負片浸于含赤血鹽的漂白液中。金屬銀在赤血鹽的作用下，就变成鉄氰化銀。漂白液的成分为：

第一磷酸鉀	4.4克
鉄氰化鉀	80克

水 加到1升

如果在漂白以前，負片水洗不佳，則殘留下来的显影液在漂白过程中就会被赤血鹽氧化，而氧化产物与偶合剂就会形成总的有色朦朧。漂白時間約为4—8分鐘。

漂白完畢的影像須要經過短時間的水洗（5分鐘），以便除去乳剂層上漂白液的各种葯剂。水洗后，再將被处理的負片材料浸到定影中去。彩色影像的定影液为20%的硫代硫酸鈉溶液；在該溶液中，可除去乳剂層上的鹵化銀和鉄氰化銀，而留下的仅为染料所組成的影像，这样定影好的負片还要最后进行水洗，其時間为15—20分鐘。

逆轉三層軟片的处理

这种軟片处理过程与前一种不同是在于：后者不是采用一次显影，而是采用二次显影，即第一次为黑白显影，第二次为彩色显影，就原理說，黑白显影可以运用任何一种显影液，只要它能保証逐次的获得平衡之彩色影像即可。但实际上，黑白显影通常是使用米吐尔几奴尼显影液或者阿米多尔显影液。該两种显影液的成分分别为：

米吐尔几奴尼显影液

米吐尔	2克
無水亞硫酸鈉	25克
几奴尼	4克
無水苏打	18.5克
溴化鉀	2克
水	加到1升

阿米多尔显影液

無水亞硫酸鈉	50克
阿米多尔	5克
溴化鉀	1克
水	加到1升

軟片在第一种显影液中要显影12分鐘，而在第二种显影液中則需显影35分鐘。首先必須使显影进行到底，即必須使乳剂層整个内部已受光的溴化銀全部显出。然后，將軟片放到流水中去沖洗30分鐘，直到軟片的显影液全部洗去为止，因为在乳剂層中，即使剩下一些显影液的痕跡，那末在紧跟着的曝光時間內，將会产生显影作用，而一部分溴化銀將会还原。这样一来，参加彩色显影的溴化銀就会减少了，結果色的饱和度也会相应的减少。

在水洗以后，將軟片进行曝光，此时須用500瓦特的电灯，离軟片的距离应为50厘米，在軟片的表面上，不应有水滴和水紋，因为該二者可能在彩色影像上留下痕跡，为此，如果是狹窄軟片，則可用棉花將水吸去，如果是寬的軟片，則須利用專門的仪器通过水来曝光。

正片过程

彩色攝影中的正片过程与黑白攝影中的正片过程有着显著的不同。

上面已經述及，三層負性軟片每一層乳剂的光譜感光范围皆很寬，因此，假如將这

样的负片印到具有同样光谱感光特性的正性软片或像纸上，则由于缺少必要的分色，影像颜色的饱和度就会变小。所以除了下面的全色层外，正性材料的其他两层的最高增感位置应与负片材料的一样，但各光谱带应彼此相隔很远和区别得很清楚。下面全色层的最高增感位置应在红外光部分的相邻带内见表（11-3）。

表 11-3

乳 剂 层	三層乳剂在光谱曲线中的最高增感位置 (m μ)	
	負 性 軟 片	正 性 軟 片
上 层	400	400
中 层	540	540
下 层	650	710

由于正性软片的每一层乳剂具有这样的光谱感光特性，故利用它能得到色调相当饱和的彩色影像。

假如软片色调平衡性良好，即乳剂层的三条特征曲线皆能合成一条曲线，则在某些条件下，彩色软片的印像过程就可与黑白软片的相同。例如：若物体的灰色浓度在负片上表达出来的也是灰色浓度，而在正片上同样也会表达出灰色。但是具有理想彩色平衡的软片，目前遇到极少。此外在印像过程中，还必须考虑到摄影光源辐射的光谱成分和印像时所用的光源的光谱特性，因此印像时，必须用滤光片来改正。

此外，也须保证印像用之光源的光谱成分不变，为此，应将伏特计和可变电阻相接，但更好是用电压稳定器。

正性软片处理溶液可与负性软片相同，只要再加用10%的第一磷酸钾溶液状的停止液即可。正性软片处理的时间与温度已列表（11-1）内。

处理像纸所用的溶液以及处理次序可与处理负性材料的相同。

显影液

A	羟基氨基醋酸酯合物	2克
	一取代二乙基对苯二氨	4.5克
	水	加到500毫升
B	碳酸钾	75克
	无水亚硫酸钠	0.5克
	溴化钾	0.5克
	水	500毫升

以上两种溶液要混合使用。

在处理彩色像纸时，实验室内的照明应用专门的绿褐色的滤光片。如果工作者具有一定的经验，则在显影中就可按曝光量的正确情况来控制显影时间。

停止液内的成分为：

水	1升
硫代硫酸钠	200克

第二磷酸鈉	10克
第一磷酸鉀	10克

漂白液的成分为：

赤血鹽	50克
氯化鈉	50克
水	1升

当彩色像紙在停止液中处理时，其所有的鹵化銀皆会变成可溶解的状态。为了全部的除去亞鉄氰化銀和使乳剂層很坚固，需將漂白后的像片浸到坚膜液中，該坚膜液的成分为：

硫代硫酸鈉	80克
無水醋酸鈉	60克
明矾	30克
水	1升

像片的水洗必須很仔細，而且尽可能很快的使其晾干，总的來說，迅速的晾干，对于所有三層彩色感光材料來說，都是适合的，因为如果晾干得很慢，則影像的顏色会發生显著的变化。彩色像片如同黑白像片一样，也可在光滑表面或毛表面上滾平。

在評定彩色攝影影像質量时，必須要应用能發出足够亮度的日光灯，在比較影像与物体的顏色时，必須要估計到目前還沒有一种彩色攝影方法能將物体所有的顏色按理想精确的表达于影像上，因此在評定地面的攝影像片时，必須力求最常見的彩色物体，如天空、人、綠色物体的顏色最接近于实物。在地面攝影中，若在像幅中包括有3—5种灰色黑度所造成的分划的話，則是很有利的，当像片上的分划也表现为灰色的黑度时，則此时的顏色表达最佳，这样常見的彩色物体在航攝像片上是沒有的，因此需要用人工的方法將其加到物体上。

彩色航攝像片的优越性

資料像片可以用空中攝影方法攝取之，这种資料像片必須能最完全的表达出地表面的所有物体，由这一点出發看，則黑白像片决不能称为完全确实的，因为，这种像片的顏色不能符合于物体的顏色，而且这样会引起顏色不同的物体可能發出光化作用近似相同的光綫，結果使得在負片上得到的黑度相同，致使物体不能区别出来。根据經驗知道，若用黑白攝影来攝取秋天树叶，則很难將黄色的树叶与綠色的树叶区别开来，然而，人眼是很容易將該兩色区别开来的，总的來說，人眼在彩色像片上能区别出来的顏色，其种类要比黑白像片上所能区别出来的顏色色調的种类多得多，因此根据彩色影像的分析来判別物体，則比根据黑白攝影要容易得多。所以当空中攝影的要求是要最正确的判讀影像时，則特別需要采用彩色攝影。

附 录

(一) 显影液

1. 契皮索夫显影液:

- 米士尔 1克
- 几奴尼 5克
- 亞硫酸鈉(無水) 26克
- 碳酸鈉 20克
- 溴化鉀 1克
- 水 1升

在溫度为 20°C 时, 显影时间为 6—8 分鐘。

2. 調和显影液:

- 米士尔 2克
- 几奴尔 5克
- 亞硫酸鈉(無水) 50克
- 硼砂 20克
- 水 1升

3. 具有三种基本溶液的显影液:

- 米士尔 14克
- A { 亞硫酸鈉(無水) 70克
- 水 加到1升
- 几奴尼 18克
- B { 亞硫酸鈉(無水) 50克
- 水 加到1升
- 碳酸鈉(或碳酸鉀120) 150克
- C { 溴化鉀 12克
- 水 加到1升

使用时, 將上列三种备用液以不同比例配合, 可得三种性質不同的显影液。

基 本 液	显影液性質		
	硬 性	中 性	軟 性
A	1	1	2
B	1		—
C	1		1
水	—		6

4. 适用于曝光过度的显影液:

- 几奴尼 6克

亞硫酸鈉(無水).....	25克
碳酸鈉.....	12克
溴化鉀.....	5克
水.....	1升

5. Ku-1显影液:

米士尔.....	2克
几奴尼.....	10克
亞硫酸鈉(無水).....	52克
碳酸鈉.....	40克
溴化鉀.....	4克
水.....	1升

6. 适用于曝光不足的显影液:

当曝光不足不甚厉害时, 則可將 Ku-1 显影液加入一倍水, 并稍延長显影時間, 如曝光不足很多时, 則可采用下列药方:

木醇.....	48毫升
米士尔.....	14克
亞硫酸鈉(無水).....	52克
几奴尼.....	14克
氫氧化鈉.....	9克
溴化鉀.....	9克
水.....	加到1升

当温度为20°C时, 盆中显影約为5分鐘。

7. 微粒显影液:

米士尔.....	5克
亞硫酸鈉(無水).....	75克
硼砂.....	12克
硼酸.....	4克
水.....	加到1升

当温度为18°C时, 显影時間为14—20分鐘。

8. 逆轉显影液:

(A) 負片逆轉显影液:

第一次显影液:

米士尔.....	13克
亞硫酸鈉.....	100克
溴化鉀.....	5.5克
氨水.....	30毫升
几奴尼.....	4克
水.....	900毫升

应用液以 1:3 冲淡，显影时间为 5—10 分钟

漂白溶液：

重铬酸钾 50克
 浓硫酸 100毫升
 水 1升

使用液以 1:10 冲淡，漂白时间为 2—4 分钟，当温度为 18°C 时，冲洗 5 分钟。

澄清溶液：

亚硫酸钠（无水）

水

澄清时间为 6 分钟，冲洗时间为 8 分钟。

第二次曝光的照亮时间，为用 100—150 瓦特的灯在距离为 2 米时，则曝光时间为 5 分钟，第二次显影可在普通的米士尔——几奴尼显影液中进行，定影可用普通定影液。

(B) 像纸逆转显影液：

第一显影液：

亚硫酸钠（无水） 100克
 氢氧化钠 25克
 几奴尼 20克
 溴化钾 3克
 水 加到 1升

当温度为 20°C 时，显影时间为 2 分钟。

漂白液

水 100毫升
 重铬酸钾 15克
 浓硫酸 30毫升

当温度为 20°C 时，漂白时间为 50 秒，水洗数分钟后，再用 10% 的无水亚硫酸钠澄清，第二次显影与负片的相同。

(二) 定影液

定影液名称 药品	普通定影液	酸性定影液		快速定影液	坚膜定影液	
		1	2		1	2
硫代硫酸钠	300克	250克	250克	250克	250克	270克
无水亚硫酸钠	—	25克	35克	35克	35克	54克
硫酸(比重1.84)	—	—	6毫升	6毫升	6毫升	—
双氧氧	—	17克	—	—	—	—
铬矾	—	—	—	—	15克	—
福马林	—	—	—	—	—	128毫升
氯化铵	—	—	—	50克	—	—
水	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升(宜于温度超过35°C时使用)

(三)大苏打破坏剂：(用于加速像片水洗时间)

过氧化氢(3%溶液)	125毫升
氨水(3%溶液)	100毫升
水	加到 1升

先将像片冲洗后，浸入上液6分钟，再经过十分钟的水洗即可。

(四)加厚与减薄液

1. 用赤血盐减薄

A	赤血盐	10克
	水	1升
B	硫代硫酸钠	100克
	水	1升

将上二溶液混合即得

2. 过硫酸铵减薄

过硫酸铵	20克
硫酸(比重为1.84)	1毫升
水	加到 1升

3. 重铬酸钾加厚

重铬酸钾	80克
盐酸(比重为1.19)	60毫升
水	加到 1升

在上列溶液中漂白并用水洗后，再放在显影液中变黑。

4. 汞加厚

溴化钾	22克
二氯化汞	22.5克
水	1000毫升

5. 溴化铜加厚

硫酸铜	5克
溴化钾	5.5克
水	200毫升

像片在上液漂白以后就水洗几分钟，然后侵入下列溶液：

硝酸银	10克
水	100毫升
氨水	几滴

像片仔细水洗，并再浸入下列溶液2—3分钟。

结晶亚硫酸钠	5克
水	100毫升

(五)器皿清洗液

甲液：

水 1升
 过錳酸鉀 2.0克
 硫酸 4.0毫升

乙液:

水 1升
 重亞硫酸鈉 30.0克
 無水亞硫酸鈉 30.0克

使用方法:

欲除去由于銀質、硫化銀以及若干种染料所产生的污漬，可倒甲液少許于器皿中，留置数分鐘后即倒掉，用水冲洗，然后再將乙液倒入。將此液攪动至棕黄色的污漬完全除去后再倒出，最后用清水洗掉。

甲乙兩液可洗器皿很多具，但一經用过即应棄去。

乙液可以用酸性定影液代替之

一九六五年十一月一日