

感光材料和摄影处理

湖南出版社

新华书店

PDG

感光材料和摄影处理

美国《摄影测量手册》节选之三

主编：[美]R.G.麦克金尼

编者：[美]P.Z.阿德尔斯坦

E.C.道尔内

N.L.弗里茨

J.F.汉密尔顿

J.T.小史密斯

E.G.蒂贝尔兹

R.A.韦尔什

M.G.安德森

A.E.菲尔兹

J.格雷夫莱

G.L.罗比森

M.R.施佩希特

W.F.沃格雷桑

翻译：宣家斌

.. 伦 出 版 社

出版说明

由 C.C. 斯拉麦主编的美国《摄影测量手册》(1980 年第四版)是摄影测量学科的重要著作,在国际上有很大影响。它的翻译出版对我国摄影测量与遥感事业的发展,必将会有所促进。原书篇幅较长,若全面进行介绍,工作量大,出版周期将拖得很久。现根据我国目前摄影测量书籍的出版和需求情况,按轻重缓急采取节译办法,以一章为一单行本的形式,陆续介绍给广大读者。

本册是原书中的第六章。主要内容有:感光材料的感光特性剖析;黑白软片、彩色软片、晒印用感光材料、非常规航摄材料(微泡片、热敏感光材料等)的介绍;感光材料的物理性能;摄影处理原理和设备;航摄影象质量的评定;摄影处理的方法等。本书对从事摄影测量及其它一切与摄影有关的专业人员均有参考价值。

感光材料和摄影处理

——美国《摄影测量手册》节选之三

(美) R.G. 麦克金尼 等

宣家斌 译

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

*

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 5.125·插页 1·字数 113 千字

1984 年 11 月第一版·1984 年 11 月第一次印刷

印数 1—3500 册·定价 1.10 元

统一书号: 15039·新 350

PDF

目 录

第一节 序言	(1)
1. 摄影的发展史.....	(1)
第二节 感光特性	(6)
1. 潜像.....	(6)
2. 感光度.....	(8)
3. 感光测定.....	(10)
4. 显现影象的物理特性.....	(20)
5. 感光度、颗粒度和清晰度之间的关系.....	(31)
6. 彩色摄影原理.....	(32)
7. 航摄软片的感光度.....	(36)
第三节 感光材料	(39)
1. 黑白航摄软片.....	(39)
2. 彩色软片.....	(43)
3. 晒印(复制)感光材料.....	(47)
4. 反射晒印感光材料.....	(53)
5. 透明正片和玻璃正片.....	(57)
6. 非常规航摄材料.....	(60)
第四节 物理性能	(69)
1. 软片.....	(69)
2. 硬片(干板).....	(88)
3. 相纸.....	(93)
4. 软片的厚度和卷装容量.....	(95)

第五节 摄影处理原理	(97)
1. 概述	(97)
2. 常规黑白片的摄影处理	(97)
3. 彩色片的摄影处理	(104)
4. 摄影处理过程的控制	(106)
5. 节约化学药品和水以及污水处理	(108)
第六节 摄影处理设备	(114)
1. 对摄影实验室处理设备的要求	(114)
2. 一般摄影处理设备和方法	(116)
第七节 航摄影象质量的评定	(121)
1. 摄影测量对影象质量的要求	(121)
2. 检查和编号	(133)
3. 摄影处理前可能存在的缺点	(134)
4. 在摄影处理和装卸(操作)软片时可能 产生的问题	(134)
第八节 晒印和复制	(137)
1. 接触晒像	(137)
2. 投影晒像	(138)
3. 对接触晒像和投影晒像的要求	(139)
4. 复照	(140)
5. 负片的复制	(140)
6. 透明正片的晒印	(141)
参考文献	(146)

第一节 序 言

摄影测量工作涉及许多科技领域，其中摄影技术是基础。因为，摄影技术能既经济又方便地为获得数据提供所需要的感光度和信息存贮量。用摄影方法获得的数据可以对物体进行判译，这些数据也即是摄影测量作业中各工序的依据。

1. 摄影的发展史

摄影学起源于十九世纪初期，是 J.H. 舒尔茨 (Schulze) 于 1827 年发现了硝酸银对光的感光性之后兴起的。

当时已经发现有许多物质在光的作用下会产生可见的变化，但产生这种变化所需要的时间太长，因此没有实用价值。

直到 1839 年，银对光的感光性才在商业上开始被利用，并发明了银板照相法 (达盖尔摄影术)。J.M. 达盖尔 (Daguerre) 偶然发现了一种能够使曝光时间大为缩短的方法，于是，这种早期的摄影技术就为公众所接受了。

当时，达盖尔一直在研究对光敏感的银的化合物，并且制成了涂有碘化银的铜板。有一天，达盖尔将这种感光板装在照相机中曝光了几分钟，当时他认为由于天空布满乌云，曝光是不足的，于是他将这块感光板放到箱子中等候天气转晴。过了一段时间，当他回来时却发现用这样短的时间所曝光的景物已经在铜板上显露出来。当时在箱子中，有许多化学药品，其中有一盘未盖罩子的水银，在排除了其它化

学药品的作用后，达盖尔发现：水银蒸汽在感光板上形成了一层可见的银汞合金层，而且合金层与曝光时在感光板上所受到的光强成正比(图1)。



图1 这张用银板照相法摄取的图象，
是商业上第一次成功的摄影。

与达盖尔同时期的 W.H.福克斯-塔尔伯特 (Fox-Talbot) 当时在英国也在紧张地进行着类似的研究工作。当他知道达盖尔的摄影术之后，也发表了自己的科研成果(在他没有找到一种增强光的作用的方法之前，塔尔伯特所用材料的感光性也是很低的)。其方法是將碘化钾涂在一张纸上，然后将其浸在硝酸银和没食子酸的溶液中，曝光后又将感光

纸浸在上述溶液中使其慢慢地显露出影象。再用 J. 赫谢尔 (Herschel) 的方法将其浸在硫代硫酸钠溶液中使影象稳定, 这种方法及其改进型使用了好几年, 但有一个缺点, 即纸质纤维破坏了影象的细部, 而达盖尔摄影术却可以呈现出影象的细部。但是, 塔尔伯特方法是负片-正片型的摄影方法, 因此, 可以认为塔尔伯特才是当代摄影技术的真正先驱者。

摄影中所需要的是增强投射光的作用, 用现代术语来说, 就是要能“放大”投射光的作用。没有这种作用, 就不会有摄影(正如我们所知, 也肯定不会有航空摄影)。因此, 达盖尔和塔尔伯特将因他们各自发现了这个极为重要的现象而受到人们的尊敬。

用光来“描绘”图象的消息自然引起人们的注意, 并促使许多学者进一步探索这一现象, 于是很快有了新的改革, 从而提高了摄影技术的工艺水平, 而达盖尔摄影术就被更方便的负片-正片型的摄影方法替代了, 这主要是因为达盖尔摄影术只能得到一张图象*。

1851 年, S. 阿切尔 (Archer) 研制成一种含有氯化银的硝化纤维胶液, 并把它涂布在玻璃板上, 曝光后用焦性没食子酸显影以产生和增强影象。与塔尔伯特的方法比较, 其优点是这种方法对光线更敏感, 而且影象的清晰度要比纸质负片好, 但缺点是必须立即准备药液和进行摄影处理(显影、定影、水洗和干燥)。因此, 一位湿板摄影师为摄取一张像片需要带上许多笨重而复杂的装备。

幸好, R. L. 马多克斯博士 (Maddox) 解决了曝光后

* 因为达盖尔摄影术不能用于复印。

——译者注

必须立即进行摄影处理的难题。1870年，他研制成一种卤化银明胶乳剂，这种乳剂可以在使用前进行涂布和干燥。马多克斯的明胶法保留了阿切尔湿板法的优点，又保护了卤化银颗粒，使曝光后获得的不可见的影象可以在以后显影，从而使摄影时除了摄影机和感光板外再也不需要其它装备了。

彩色摄影起源于1855年，当时，物理学家C. 马克斯韦尔 (Maxwell) 提出了彩色合成的方法，根据T. 扬 (Young) 于1802年提出的三色视觉原理，马克斯韦尔用珂罗酊板制作了三张底片(负片)。这些底片是分别通过装有红、绿、兰彩色溶液的平板玻璃容器后再曝光的，这些彩色容器就作为滤光片(在当时，这种感光板只具有卤化银对兰色光线所固有的感光性，所以，通过红、绿滤光片摄影时，马克斯韦尔用了很长的曝光时间)。然后，再由这三张负片在玻璃板上制作出三张正片，并用幻灯投影器将这三张正片同时投影在屏幕上。投影时，在每个投影器的前面放置一个摄取负片时所用的相同的彩色滤光片，于是，这三张单色正片叠合在一起就得到原有物体的彩色图象。当时，马克斯韦尔并没有把这种方法推广到实用阶段，这是以后由L.D. 杜豪罗恩 (Dun-hawron) 和其他学者如科林和贾尔斯 (Collins and Giles 1952) 研究完成的。

1873年，H. 沃格尔 (Vogel) 发现：在乳剂中加入某种能吸收光能的染料后，就可以扩大感光材料对长波光的感光性。这一发现对黑白摄影和彩色摄影的进一步发展都具有重要意义。经过不断地研究，合成出许多不同特性的增感染料，其中包括能扩大到红外光谱区的增感染料。G. 伊斯曼 (Eastman) 于1889年制造出一种以硝化纤维为片基的感光材料。这种片基具有和玻璃板相同的透明度，但不会破

碎，而且缩小了重量和体积，使用也很方便，从而对用于曝光、摄影处理和装卸负片所需要的设备可以设计得简单一些。这种软性的透明片基用于像片放大时，具有极为重要的意义。当然，在强调透明片基的重要性时，也应考虑到把感光乳剂涂布在其它不同的片基上，那将会扩大摄影技术的各种用途，因为不同的片基能满足各种用途对片基的机械性能和物理性能所提出的特殊要求。

当赖特（Wright）兄弟于1903年实现了人类历史上第一次空中飞行时，摄影技术在当时已经能满足摄影测量学所提出的各种要求，航空摄影测量工作者需要等待的只是对飞机进行改进了。

摄影技术所具有的各种特性最初来自于公众对摄影的兴趣，并使摄影有所创新和改革，而科学家则对摄影科学的研究不感兴趣，认为摄影与科学无关。但是，卤化银晶体吸收光量子后所发生的变化以及由此而使整个晶体还原成金属银的秘密，后来终于为科学家所重视。因此，到十九世纪末，科学家们各自（以后就有组织地）进行摄影学理论的研究，从而不但清楚地了解了卤化银对光的感光性的基本原理，而且进一步改进了摄影技术的各种特性，这对摄影的实际应用都有重要的意义。

第二节 感光特性

1. 潜像

感光材料的光敏元件是卤化银微晶体，直径在十分之几到几个微米之间，晶体的形状一般很有规律，最大的晶体中有多达 10^{10} 对银离子——卤素离子。

正常曝光时，感光层上只接受到极少量的光量子，但在曝光过程中已经发生了变化，即形成了潜像。当按正常时间显影时，已曝光的卤化银晶体会完全被还原成单质银，而大部分没有见光的卤化银晶体却不发生变化。对大多数感光材料来说，卤化银晶体只要吸收 3 ~ 4 个光量子，在显影时该晶体就能被还原。考虑到某些卤化银晶体中含有十亿多个银离子，所以显影中放大了这几个光量子的作用，其放大倍数达到 3×10^9 ，这是当前所能达到的最大的放大倍数。

曝光之后，在晶体的表面或内部生成一小团银原子，该银斑（即潜像中心）在显影中成为催化剂，使显影速度提高许多倍，而且能在曝光和未曝光的晶体之间作出鉴别。银原子由晶体中的银离子和电子化合而成，晶体没有受到光的照射时，价电子是不能自由移动的，但是当晶体吸收了一个光量子之后，就会从束缚状态中释放出一个电子，并使电子处于游离状态，当电子游离到晶体的缺陷处，电子就会在这“势阱”处陷落。由于热辐射，晶体即使没有受到光的照射，也有少量的银离子处于游离状态，于是，游离的银离子与陷落的电子化合成银原子，并且“重建”陷阱以捕获吸收

了另一个光量子后而产生的第二个电子。上述过程在曝光时一直重复地进行着，当晶体的某一点上聚集有足够数量的银原子后，该晶体就能被显影了。

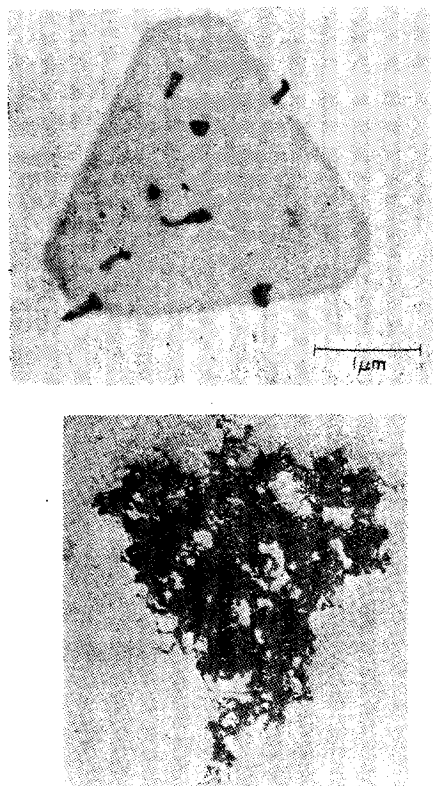


图 2 曝光后的卤化银颗粒(上)和显影后的颗粒(下)。
上图上的黑色斑点就是已被部分显影的潜像，上、
下两图并不代表同一颗粒，只是用来说明本节所叙
述的基本原理。

自从一百五十年前摄影学兴起以来，为提高曝光效率和扩大对可见光谱区的吸收范围所作的研究工作，已经使感光材料的感光度提高了 10^4 倍。

2. 感光度

感光材料对辐射能的敏感程度或反应速度称为感光度。对不同波长的辐射，感光材料的感光度是不同的，这种特性称为光谱感光度。例如，卤化银对兰色光线或近紫外光线具有固有的感光性。某些有机染料可以吸收长波光的辐射能，并将这些能量传递给卤化银，这种染料称为光学增感剂。在黑白摄影中，将光学增感剂加入卤化银乳剂，从而扩大了乳剂层对长波光的感光性(如图 3 和图 21 所示)。彩色乳剂层是由分别对红、绿、兰三种光线感光的乳剂层迭合而成的，乳剂层中含有彩色成色剂，所生成的颜色与各乳剂层中增感剂所感受的色光互为补色，每一种彩色染料生成的数量近似地与投射的光量成正比，按这种原理制成的彩色软片称为“三层彩色片(tripak)”，并将在“彩色摄影原理”(第二节之 6)中详细讨论。

从摄影测量看，乳剂层的感光度是最重要的特性之一，但是，感光度不能直接测定，需要对摄影处理后的乳剂层量测其透光率(透明度)之后才能进行测定。

1) 定义

感光材料的透光率(或透明度 T) 表示单位时间内通过感光材料的出射光通量与单位时间内投射到感光材料上的入射光通量之比。透明度倒数的常用对数值定义为感光材料的密度，即：

$$D \equiv \log\left(\frac{1}{T}\right) = -\log T$$

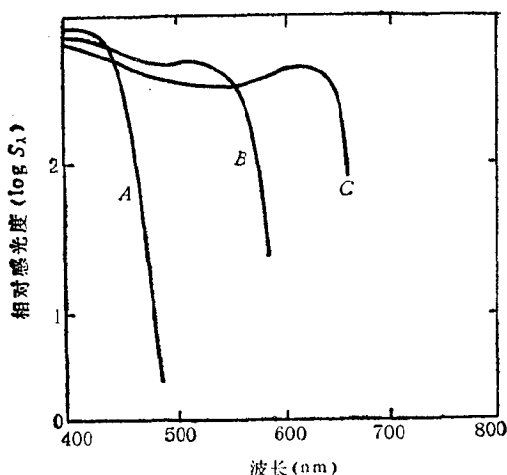


图 3 常用乳剂的光谱感光度曲线

A——使用卤化银乳剂；B——使用正色乳剂；C——使用全色乳剂

而光谱感光度 S_λ 定义为：

$$S_\lambda \equiv \frac{1}{H_\lambda}$$

式中 H_λ 表示用单色光投射在每平方厘米的乳剂层上时产生某一基准密度所需要的能量。基准密度的大小取决于乳剂的用途及其特征。一般基准密度取 1.0。对彩色感光材料，基准密度值 1.0 是相对于未经曝光而显出的密度而言的（即底色以上 1.0）。感光材料的传递函数（也称为“响应”） R 可由 S_λ 和 Q_λ 求得，其中 Q_λ 为照度能量的光谱分布，单位与 H_λ 相同，即：

$$R \equiv \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_\lambda S_\lambda d\lambda$$

讨论卤化银（黑白）乳剂时，光谱感光度就成为感光度，

即:

$$S \equiv \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} d\lambda$$

积分的上、下限为波长 λ_1 和 λ_2 , 在该波长处, 光谱感光度下降到零, 并保持不变。第二节之 3 将介绍量测光谱感光度和积分感光度的仪器。

3. 感光测定

感光测定是研究感光材料对光的反应的一门科学, 其中包括精确地进行曝光、摄影处理和量测试片所用的仪器和方法。更为重要的是分析感光测定中所获得的数据, 使得从软片制造到最后晒印出像片的摄影过程中, 对其中每一个阶段都能作出指导。感光材料的基本感光特性全都直接或间接地与由不同曝光量所产生的阻光率或变黑的程度有关。

1) 曝光量

曝光量表示感光材料所接受的能量的大小。曝光量 $*$ (H)一般定义为照度(符号为 E , 单位为勒克司)与曝光时间(t)的相乘积。

即:

$$H = E \cdot t$$

因为量测照度时, 为了与观测者看到的光能相一致, 照度的大小是按光谱计量的。所以对感光材料而言, 曝光量的光度单位没有严格的规定。如果照度值不按光谱计量, 曝光量的单位是 尔格/ cm^2 。此时 H 的标定值可以认为是属于辐射量度的。但是, 辐射量度的一些规定并不能完全适用于摄影

* 在有些文献中, 用 E 表示曝光量, 用 I 表示照度, 但当前都倾向于采用美国国家标准学会(ANSI)和国际标准化组织(ISO)所采用的符号, 所以本书也采用上述符号(参阅 ISO1000-1973)

学，因为辐射量度学并不量测只有感光材料才敏感的某种辐射能。例如，近红外激光器，虽然这种激光器将能量投射到了这种感光材料上，但不会使对兰色光线敏感的软片感光。

“有效”辐射量度曝光量就是用乳剂的光谱感光度来计量能量的光谱分布，即：

$$H_{eff} = \frac{t \int Q_{\lambda} S_{\lambda} d_{\lambda}}{\int S_{\lambda} d_{\lambda}}$$

2) 感光仪

能精确地产生一系列有规律变化的曝光量的仪器称为感光仪。图4为感光仪主要部件的示意图。最普通的光源是白炽灯，现代感光测定要求采用钨丝卤素灯，因为这种灯泡使用寿命长，发出的光强基本上保持不变。所选择的灯泡要能够发出适当的光强，使试片上所受到的曝光量范围与将来实际使用时的曝光量范围一致。为使照度均匀，灯泡要离开试片一段距离。另外，光源发出的光要通过滤光片使投射到试片上的光谱成份与摄影时所用光源的光谱成分大致相同。设计快门时要考虑能快速地开、快速地闭，让打开和关闭快门所需要的时间与曝光时间相比是很短的。感光仪的关键就是

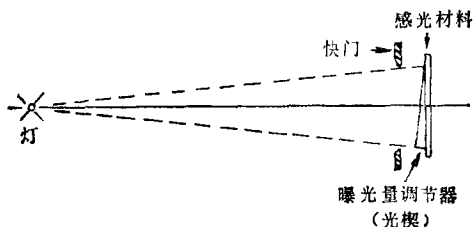


图 4 感光仪示意图

要能保持曝光量的重复性,如果曝光量调节器是中性灰色的,那就容易检定,但它不应该随着使用的年限而发生变化。

检定和调试感光仪时,调整电源的功率,就可以很方便地控制光源的色温,而改变灯泡到软片的距离,就可以调整照度值。感光仪所用的光源按照美国国家标准学会 ANSI (American National Standards Institute) 标准的规定为“感光测定用模拟的日光光源”(PH2.29-1967)或“感光测定用模拟的白炽钨丝灯”(PH2.35-1969)。

另一种短时间曝光的感光仪所用的光源是精确控制的氙气闪光管。

3) 摄影处理

如果用感光仪测定的各种特性中不包括摄影处理条件*对摄影特性的影响,那么就要精确地控制摄影处理过程。(同时进行比较试验,而且在摄影处理中都作了检查时可以例外)。为了掌握好摄影处理的条件,就需要提供必要的控制设备,进行一定的试验和记录,以保证同一类型的感光材料都能得到相同的处理条件。

4) 密度的量测

摄影时的感光效率即对光敏感的程度,是根据密度的大小衡量的。如果摄影影像具有选择性吸收,则透明度 T ,就是波长的函数,这时密度值必须用某种光谱计量函数进行测定;对黑白感光材料,一般使用与视觉响应函数有关的密度

* 摄影处理过程也可称为冲洗过程。一般黑白感光材料的摄影处理过程包括显影、定影、水洗和干燥等步骤,其中最关键的是显影,因此,所谓摄影处理条件(冲洗条件)就是指显影液的种类、显影液新旧的程度、显影时的温度、时间和搅拌的次数等条件。

——译者注