

普通高等教育
兵工类规划教材

摄影仪器

李 为 李德熊 陈南光 编著



北京理工大学出版社

摄影仪器

李 为 李德熊 陈南光 编著

北京理工大学出版社

(京)新登字 149 号

内 容 简 介

本书是为高等工科院校光学技术与光电仪器专业本科生编写的教材,书中系统地、详细地阐述摄影仪器总成及各主要组成部分的功能、构造、工作原理和基本设计计算方法,还概括地阐述了摄影基本理论及感光材料性能等有关知识。除普通摄影外,还包括空中摄影、高速摄影及图像合成等内容,兼顾普通相机及其他摄影仪器,以适应通用性的需要。本书还可作为研究、设计、生产、使用摄影仪器的工程技术人员和专业及业余摄影工作者、爱好者的参考书。

摄影仪器

李 为 李德熊 陈南光 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京市万龙图文信息公司照排

北京地质印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 407 千字

1994 年 11 月第一版 1994 年 11 月第一次印刷

ISBN 7-81013-957-6/TN·52

印数:1—1500 册 定价:16.00元

71 62
4

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神,中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来,在广大教师的积极支持和努力下,在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下,已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材的出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要,特别是国防现代化培养人才的需要,反映国防科技的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求,我们以提高教材质量为主线,完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任,建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点,成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理制度,加强组织领导”的“八五”教材建设方针,兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上,于1991年制订了1991—1995年兵工类专业教材编写出版规划,共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑,对编写大纲进行了审查,认为符合兵工专业培养人才要求,符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套,为教学质量的提高、培养国防现代化人才,为促进兵工类专业科学技术的发展,都将起到积极的作用。

本教材由李为主编,唐良桂主审,经中国兵器工业总公司光学技术与光电仪器专业教学指导委员会复查,兵总教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处,希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1993年11月

前 言

摄影仪器是光学仪器中一个重要的门类,它利用光线在感光材料上的作用客观地逼真地记录景物的影像,是获取、保存、传播和交流信息,特别是图像信息的有力工具。人类认识外在世界的信息中有80%依靠视觉接收和识别,但是人的视力很有限,太大的和太小的,太远的和太近的,太亮的和太暗的,变化太快的和太慢的,以及超出可见光范围以外的,我们不是看不清就是看不见。人的记忆保存图像细节的能力也很差,而且随着时间的推移,留在记忆中的映象将越来越模糊。摄影仪器,包括普通的小型照相机和各种专用摄影机,如全景摄影机、显微摄影机、远程摄影机、航空摄影机、高速摄影机、红外摄影机等,以及应用摄影技术研究、记录各种现象的装置,不但延伸了人的感觉器官,增强了我们观察和认识世界的能力,而且为人们提供了长期保存信息的重要手段。所以,摄影仪器在文化、教育、科学研究、生产、军事等各领域各部门有着十分广泛的用途。

本书系统、详细地阐述摄影仪器总体及各主要组成部分的功能、构造、工作原理和基本设计计算方法,是为高等工科院校光学技术与光电仪器专业本科生写的教材,也可作为研究、设计、生产、使用摄影仪器的工程技术人员和专业及业余摄影工作者、爱好者的参考读物。

全书共分十章。第一章是关于摄影过程原理,感光材料特性和测定方法,以及摄影影像质量评价方法的基本知识,了解这些基本知识是学习以后各章的基础,也是掌握摄影仪器工作原理和设计原则的出发点。第二章概述摄影仪器的总体组成和类型,介绍几种主要的摄影方法和摄影仪器的原理、特点和应用。摄影仪器虽然种类繁多,它们仍有许多基本的共同点,所以,我们把讨论的重点放在这些共性的问题上。从第三章到第九章分别讨论摄影物镜、可变光阑、快门、曝光量控制、取景系统、调焦系统、输片系统等摄影仪器各基本部分的功能、结构、工作原理和设计问题,同时也有选择地适当介绍一些比较普遍存在于某一类或几类摄影仪器中的特殊问题。在内容和选材上,除了地面摄影用的各种小型照相机外,还包括在遥感中广泛使用的航空摄影机;除了传统的光学系统与精密机械结构外,还包括近年来发展的微电子和微计算机技术在自动曝光控制和自动调焦中的应用。第十章集中讨论了航空摄影中的像移和像移补偿问题。

本书在1986年李德熊教授主编的同名教材的基础上,根据这几年教学和科学研究的实践经验和摄影仪器的发展,进行增删和修改,其中大部分内容都是重新编写的。限于我们的水平,加上科学技术日新月异的发展,书中难免会有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

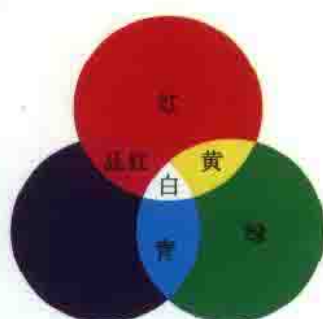
本书由李为主编,唐良桂主审。参加编写工作的有李德熊教授编著第一、二、三、七、八章,陈南光高级工程师编著第六章,李为副教授编著其余各章并统编全书。唐良桂教授在审阅中提出了许多宝贵的意见,并为编写工作提供了不少资料,北京理工大学工程光学系摄影与遥感技术教研室的其他同志也给予了热情的支持,在此一并表示深切的感谢。

作 者

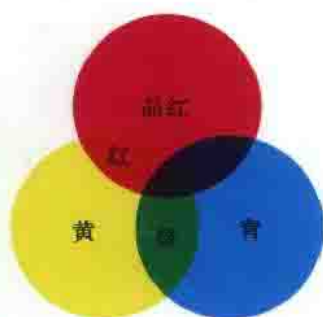
1993年7月

彩色附图 1

颜色的光学组合



(a) 加色法混合

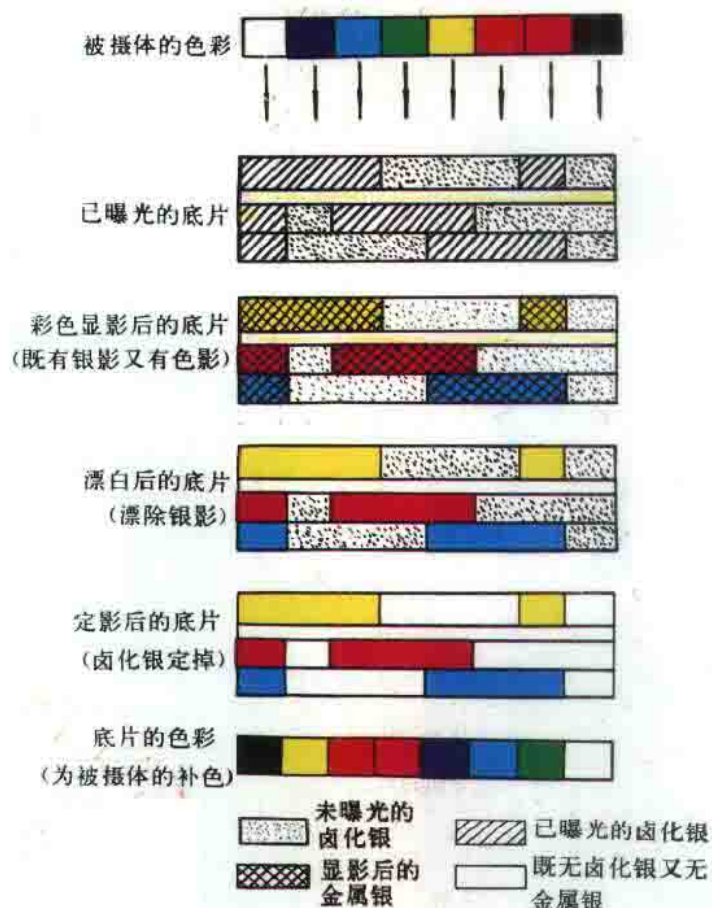


(b) 减色法混合



彩色附图 2

多层彩色负片的成色过程



彩色附图 3 真假彩色照片的对比



(a) 真彩色



(b) 假彩色

彩色插图 4 森林火灾的红外像片



炽热的火团和火势前沿清晰可见。

目 录

第一章 摄影与感光材料基础知识

§ 1-1 感光材料的基本组成和分类	(1)
1-1.1 感光乳剂	(1)
1-1.2 片基	(6)
1-1.3 附加层	(7)
§ 1-2 摄影过程及其机理	(8)
1-2.1 摄影曝光过程	(8)
1-2.2 摄影加工过程	(10)
§ 1-3 彩色摄影	(12)
1-3.1 视觉三色理论	(12)
1-3.2 采用多层彩色感光材料的彩色摄影	(14)
§ 1-4 一步摄影	(15)
§ 1-5 红外摄影和光谱带摄影	(17)
1-5.1 红外摄影	(17)
1-5.2 光谱带摄影	(19)
§ 1-6 电摄影	(20)
§ 1-7 摄影材料的感光特性	(21)
1-7.1 感光特性曲线	(23)
1-7.2 反差系数	(23)
1-7.3 宽容度	(25)
1-7.4 感光度	(26)
1-7.5 彩色平衡	(33)
1-7.6 光谱感光度(感色性)	(34)
§ 1-8 感光测定	(34)
1-8.1 曝光	(34)
1-8.2 显影加工	(36)
1-8.3 密度测量	(36)
§ 1-9 摄影影像质量的评价	(37)
1-9.1 颗粒性和颗粒度	(37)
1-9.2 清晰性和清晰度	(40)
1-9.3 分辨率和调制传递函数	(41)

第二章 摄影仪器概论

§ 2-1 摄影仪器的基本组成和分类	(43)
§ 2-2 普通摄影仪器	(44)
§ 2-3 地面远程摄影仪器	(46)

§ 2-4 航空摄影机	(48)
2-4.1 分幅摄影	(48)
2-4.2 缝隙摄影	(51)
2-4.3 全景摄影	(52)
§ 2-5 多谱段摄影系统	(56)
§ 2-6 高速摄影机	(59)
2-6.1 单幅高速摄影	(60)
2-6.2 连续高速摄影	(61)
第三章 摄影物镜	
§ 3-1 摄影物镜的光学性能	(68)
§ 3-2 摄影物镜的类型	(81)
§ 3-3 镜头与机身的连接	(83)
第四章 可变光阑	
§ 4-1 概 述	(86)
§ 4-2 可变光阑的类型和结构	(89)
§ 4-3 可变光阑的设计计算	(95)
4-3.1 虹彩光阑的设计计算	(96)
4-3.2 双片光阑的设计计算	(105)
第五章 快 门	
§ 5-1 概 述	(107)
§ 5-2 中心快门	(111)
5-2.1 中心快门的类型和结构	(111)
5-2.2 中心快门的特性	(119)
5-2.3 中心快门动力弹簧的计算方法	(126)
§ 5-3 程序快门	(132)
5-3.1 程序快门的类型和结构	(132)
5-3.2 程序快门的特性	(137)
5-3.3 程序快门程序曲线的计算方法	(138)
§ 5-4 百叶窗快门	(140)
§ 5-5 帘幕快门	(141)
5-5.1 帘幕快门的类型和结构	(141)
5-5.2 帘幕快门的特性	(149)
第六章 曝光量控制	
§ 6-1 曝光参数方程	(156)
§ 6-2 一般照相机中曝光量控制方式	(160)
§ 6-3 曝光参数的引入	(161)
6-3.1 亮度的测定	(161)
6-3.2 曝光参数 SV、AV 和 TV 的引入	(166)
§ 6-4 半自动控制曝光量的基本原理	(172)
6-4.1 微型电流表指示型半自动控制曝光量的基本原理	(172)
6-4.2 发光二极管(LED)跳灯指示型半自动控制曝光量的基本原理	(174)

§ 6-5	自动控制曝光量的基本原理	(180)
6-5.1	微型电流表自动控制曝光量的基本原理	(180)
6-5.2	模拟电子电路自动控制曝光量的基本原理	(182)
6-5.3	数字电路和微机自动控制曝光量的基本原理	(191)
§ 6-6	光电法测定像面曝光量	(195)
§ 6-7	航空摄影机中曝光量的自动控制	(197)
第七章 取景观察系统		
§ 7-1	虚像式取景器	(200)
§ 7-2	实像式取景器	(202)
§ 7-3	取景视差和消视差机构	(203)
第八章 调焦系统		
§ 8-1	焦深和景深	(206)
§ 8-2	调焦方式和调焦机构	(209)
§ 8-3	光学测距器	(211)
§ 8-4	对焦屏	(213)
§ 8-5	自动调焦系统	(217)
8-5.1	测距方式的自动调焦	(217)
8-5.2	聚焦检测方式的自动调焦	(222)
第九章 输片系统		
§ 9-1	输片机构	(225)
9-1.1	等量输片机构的原理	(226)
9-1.2	输片机构的类型和结构	(227)
§ 9-2	展平机构	(237)
§ 9-3	计片装置	(239)
§ 9-4	记录装置	(241)
第十章 像移和像移补偿		
§ 10-1	航空摄影中像移的计算公式	(247)
§ 10-2	像移补偿方法和补偿机构	(251)
主要参考文献		(256)

第一章 摄影与感光材料基础知识

§ 1-1 感光材料的基本组成和分类

这里讨论的感光材料,是指在光辐射照射下能按一定规律发生光化学变化,经过适当的化学加工(显影、定影)处理后,能够以一定形式(黑白影调或彩色影像)表现出所受辐照程度的材料。它是在照相中所使用的胶片、胶卷、干板和相纸等材料的总称,一般可分黑白感光材料和彩色感光材料两大类。黑白感光材料是以不同浓淡程度的单色影调变化来表现被摄景物的形象,而彩色感光材料则能用丰富的色彩再现出绚丽多彩的被摄景物。

不论是黑白感光材料,还是彩色感光材料,按其用途一般可分成:负性感光材料、正性感光材料和反转感光材料三类。

(1) 负性感光材料。用于直接拍摄景物,经曝光和显影加工后得到明暗与被摄景物相反的影像,对于彩色感光材料来说则得到色彩为被摄景物补色^①的影像。通常在照相机和电影摄影机里所用的都是这种材料。经拍摄和冲洗加工后的负片就是一般所谓的“底片”。

(2) 正性感光材料。它用于对各种底片进行复印。由于底片的影调或色彩与景物为互补,因此用正性感光材料得到的影像,其明暗和色彩便都与被摄景物相一致。我们通常看到的照片、电影放映用的影片(“拷贝”)以及幻灯机放映用的幻灯片都是用正性感光材料制成的。

(3) 反转感光材料。反转感光材料与正性和负性感光材料不同,它经过曝光和特殊的反转冲洗加工后,得到的是与被摄景物相同的影像。一般用于照相机中拍摄景物后,可直接制成幻灯片供投影放映。若用于复制底片时,则可得到一张和底片影像一致的“翻底片”。

感光材料是由感光乳剂涂布在支持体(片基)上制成的,所以感光材料的主要组成部分是乳剂层和片基。乳剂层是对光敏感的物质,它的基本成分是明胶和卤化银。在支持体上除了涂布乳剂层外,根据不同的性能要求还涂以底层、保护层、隔层、滤色层、防光晕层等各种附加层。这样,就使感光材料的实际构造变得复杂多样。图 1-1 列举了几种典型感光材料的结构示意图。

1-1.1 感光乳剂

乳剂层的主要成分是卤化银、明胶和补加剂。卤化银以极细微的颗粒状态均匀地分散在明胶中,明胶起着卤化银颗粒保护体的作用,它是乳剂层的主要成膜物质。此外,乳剂中还需加入多种补加药剂,以提高乳剂的感光度^②,并使其具有一定的感色性、稳定性和防腐性。

一、卤化银

卤化银是感光乳剂中的感光物质,它以细微的晶体状态分散在明胶中,占乳剂总重量的

^① 补色的定义见 § 1-3。

^② 关于感光材料的感光特性,在 § 1-7 中详细讨论。

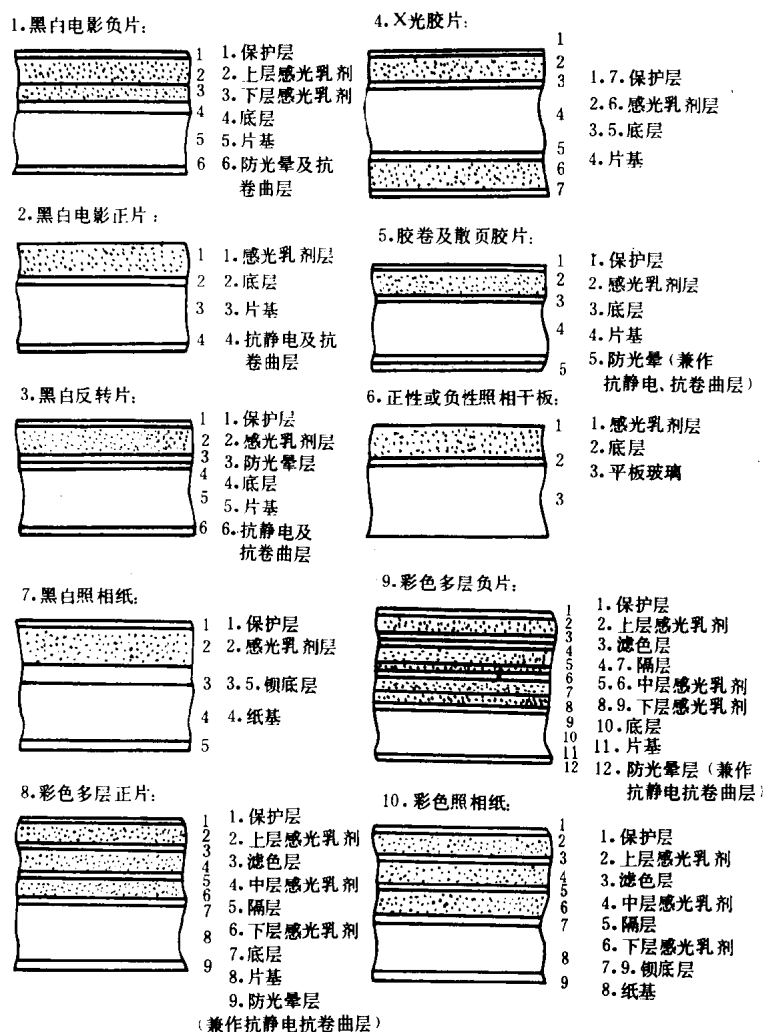


图 1-1 几种典型感光材料结构示意图

30%~40%。卤化银难溶于水,在光线下分解出银,逐渐变黑,这些特性是制造感光材料必不可少的条件。感光乳剂所用的卤化银为溴化银(AgBr)、氯化银(AgCl)和碘化银(AgI),它们的感光性能依次为:溴化银最快、氯化银次之、碘化银最慢。但如在溴化银乳剂中加入微量碘化银,则其感光度较纯溴化银更快。氟化银因易溶于水,因此在乳剂制备中没有实用价值。

在乳剂制备中很少使用单一的卤化银,通常依乳剂的照相性能按不同比例使用所谓复合性的卤化银,例如在制备低感光度乳剂时(用于相纸、幻灯片等正性材料)经常使用氯溴化银,溴化银与氯化银的比例大约各占总银量的5%和95%,在制备高感光度乳剂时(用于负性材料)往往使用溴碘化银,碘化银与溴化银相对于总银量的比例也是5%和95%。在有些感光材料品种中(例如黑白电影负片),还采用涂布两层乳剂层的办法(上层乳剂层感光度较高,下层乳剂层感光度较低),以增加摄影宽容度。

银是照相乳剂的主体,它决定着乳剂涂层的厚度和显影后的光学密度。乳剂其它成分都是以含银量为依据确定的。含银量以每公斤乳剂中含纯金属银的克数表示。普通感光材料的含银量在20~60g/kg之间。相纸类略低些,在10~20g/kg左右。这是因为相纸的基底是不透明的,所以相纸感光膜中形成影像的银粒可以少些。

感光乳剂中卤化银的颗粒性是一个很重要的特性,因为被摄景物的影像是由卤化银还原成颗粒状银所构成。在感光过程中,卤化银颗粒是单个地起作用的,每个颗粒形成潜影的一个单位,也就是一个显影单位。在正常曝光范围内,可显影的颗粒数目随着曝光量的增加而增加^①。

感光乳剂中卤化银颗粒大小很悬殊,最大的直径在 $20\sim 50\mu\text{m}$,最小的直径仅 50nm ,大部分晶体颗粒在 $0.1\sim 4\mu\text{m}$ 之间。卤化银颗粒大,易感光,颗粒小,则不易感光。卤化银颗粒的大小,不仅影响感光材料的感光度,而且也与画面的分辨率和质感有关。

卤化银的晶体结构为正立方体结构。以典型的溴化银为例,在溴化银晶体结构中每个带正电荷的银离子(Ag^+)周围有六个带负电荷的溴离子(Br^-),同样,每个溴离子周围也有六个银离子。它们均按一定的规律对称地排列着,两个相邻离子间不仅有固定的距离^②,而且有固定的角度。这种有规则的空间排列在晶体化学上称为点阵结构,而这种规则地对称排列的晶体又称为理想晶体。理想晶体在自然界是极其稀少的。在乳剂制备中,由于乳剂配方、明胶类型和工艺条件等因素的影响,乳剂颗粒大多为扁平的三角形和六角形,以及少许针状和圆形晶体。这些不规则的有某些缺陷的晶体体现了晶体的不完整性。晶体的不完整性是由于在晶体形成过程中离子迅速聚集,以及受外部因素影响使各晶面生长不平衡所致。卤化银晶体的不完整性破坏了理想晶体结构的固有平衡,造成晶体结构中的薄弱环节,而正是这些薄弱环节才使卤化银具有感光性能。我们将在 § 1-2 中详细讨论。

二、明胶

明胶又称凝胶或精胶,是一种天然蛋白质,属于蛋白质中的硬蛋白类。它由牛皮、猪皮及骨头所提炼成。用骨制备的明胶也叫骨胶。在制备骨胶时先用酸处理掉骨中的无机物,留下有机组分叫骨胶原。胶原是明胶的初始产物,不溶于水。胶原在酸、碱或酶的作用下水解生成蛋白质,才是制备感光材料的明胶。良好的明胶无色、无臭、无味、有吸湿性。

明胶在乳剂中起着保护胶体和粘合剂的作用,使卤化银颗粒悬浮而不沉淀聚积。明胶还是制备底层、保护层和防光晕层等不可缺少的原料。明胶具有独特的物理性能和化学组分,对照相性能有着极其重要的影响。

明胶是一种两性物质。它在高 pH 值下呈酸性,在低 pH 值下呈碱性。明胶在冷水中吸水膨胀但不溶解,在热水中溶解。明胶膨胀后有许多小孔,便于显影加工时,显影剂和定影剂能迅速穿过小孔与卤化银发生反应,也便于水洗时洗掉硝酸钾等盐类,但不让金属银逃脱。冲洗后机械强度不受到损害。

明胶中含有极微量的活性物质,能够提高乳剂的照相性能。这些杂质大多带有还原性或含有活泼的硫原子,可使卤化银晶体上生成银或硫化银的质点,形成所谓感光中心(或感光核)。明胶中的这些活性物质按其所引起的功能可分为:抑制剂(抑制卤化银晶体的增长)、增感剂、反差促进剂或减感剂等。

明胶的化学成分较为复杂,常常不是恒定的。由于制造明胶所用的原料不同(如前所述,明胶的原料是兽皮和兽骨,这些原料主要来自食品厂和屠宰厂,兽种、兽龄以及皮骨部位对明胶

① 详见 § 1-2 的讨论。

② 处于最近距离的 Ag^+ 和 Br^- 的间隔,在纯溴化银中为 28.87nm 。当在溴化银中一点一点地加入碘化银时,这个晶格的间隔逐渐扩大。如果加进氯化银,则反而使间隔变窄。从而影响复合性乳剂的感光度。

的特性有很大影响),生产工艺过程不同,使明胶的组分和性能存在很大差异,即使同一工厂出品的不同批号的胶片,在感光特性上亦略有差异。另外,明胶在干燥时发脆,在潮湿条件下易粘连,亦易受细菌侵蚀。因此,尽管一百多年来明胶一直是感光材料最重要原料,人们仍需要寻找一种比明胶更为优越的物质来代替它。几十年来曾试图用合成高分子化合物来取代明胶,并取得了某些进展(例如在核子乳剂中用部分高分子化合物取代明胶),但由于高分子化合物限制卤化银晶体的增长、不易水洗和难于显影加工等原因,迄今为止还不能完全代替明胶。

各种感光材料的乳剂层厚度是不同的。一般来说,正性材料的乳剂层薄,负性材料的乳剂层厚。例如:低感干板 $12\sim 16\mu\text{m}$,负性干板 $16\sim 24\mu\text{m}$,正性胶片 $10\sim 12\mu\text{m}$,负性胶片 $14\sim 18\mu\text{m}$,相纸 $6\sim 12\mu\text{m}$ 。用于特殊用途的感光材料(例如核子照相乳剂),乳剂层的厚度可达数百微米。

三、补加剂

在乳剂层中,除了卤化银和明胶外,根据不同要求还加入某些补加剂,以改善乳剂的某些性能。它们主要是:增感剂、坚膜剂、稳定剂、防腐剂等。

1. 增感剂 增感作用,就是增加乳剂的感光性。增感作用分化学增感作用和光学增感作用^①。光学增感作用的目的是在于扩大乳剂光谱感光范围(图 1-2 中的曲线 II),化学增感不改变乳剂的感光光谱范围,只是使感光度增加(图 1-2 中的曲线 I)。

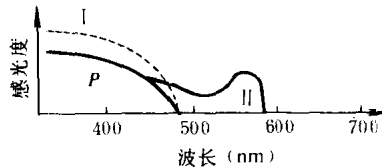


图 1-2 溴化银的增感

(1) 光学增感剂。感光材料的光谱感光性,是由卤化银所能吸收的光谱成分来决定的。它吸收的光谱范围大致为 $200\sim 500\text{nm}$ 。氯化银几乎是无色的,仅感受紫光及紫外辐射,它能感受的最长波长为 410nm 。溴化银呈浅黄色,感光区域达到 490nm 。碘化银呈现较深的黄色,它的感光区域能够达到 540nm ^②(参见图 1-3)。乳剂在 500nm 以外光谱区域的感光性决定于卤化银颗粒中的杂质。使用某些染料作为光学增感剂可以显著地扩大光谱感光性,甚至达到红外区域。增感剂加入乳剂后,被卤化银强烈地吸附着。曝光时染料分子能够吸收卤化银所不能吸收的波长大于 500nm 的光能。吸收了光能量的染料分子处于激发状态,这种活化分子很快便将它所吸收的光能传递给卤化银,增加了卤化银的分解作用,因而能起提高乳剂感光性能的作用。

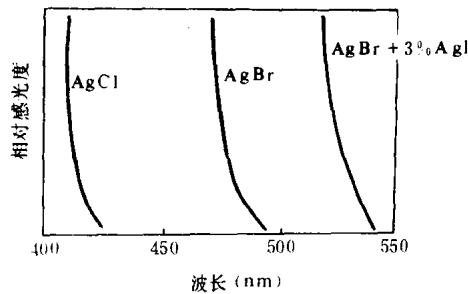


图 1-3 几种卤化银的光谱感光特性

作为光学增感剂的染料,主要是菁染料。表 1-1 列举用作增感剂的几种国产染料。

根据增感后的感光范围,感光材料可以分成盲色片(或色盲片)、正色片、全色片和红外片等。图 1-4 中举例说明各类感光材料的光谱感光范围。

^① 光学增感也叫光谱增感或分光增感。

^② 不同研究者的测定值参见参考文献[3]p.45 表 3.10。

表 1-1 几种用作增感剂的国产染料

增感剂名称	增感剂颜色	增感色光	用途
增感染料 1555	红色	绿、黄	黑白正片乳剂
增感染料 798	蓝紫色	绿、黄、橙、红	黑白全色乳剂
增感染料 340	亮红色	绿	彩色片感绿层
增感染料 1833	黄绿色	橙、红	彩色片感红层

黑白相纸复制的是黑白底片上的黑白色调,不需要光学增感,这就是为什么暗室中印像时可在红灯或绿灯下操作的原因。

(2) 化学增感剂。感光乳剂的制造,大致要经过以下几个技术过程:配液、乳化、物理成熟、冷凝、切条、水洗、化学成熟、再次冷凝切块储藏或涂布等。乳剂的制备过程实际上是将卤化银微晶体均匀地分布在明胶里并获得一定感光性能的过程。

通常把硝酸银溶液和碱金属卤化物明胶溶液混合生成卤化银明胶乳状液的过程称做乳化。乳化在装有搅拌器的不锈钢锅中进行。乳化过程是卤化银微晶体开始形成阶段。乳化结束后,还需要把混合溶液在较高温度下继续搅拌一段时间,使卤化银小颗粒成长为大颗粒。这个颗粒成长过程显然是物理过程,故称为物理成熟。又由于这一过程先于化学成熟,因此也称为第一次成熟或前成熟。物理成熟使卤化银颗粒达到所需要的颗粒大小和分布状况,而化学成熟是在卤化银颗粒上形成金属银和硫化银小质点,使颗粒产生局部变化,从而达到所要求的感光性能。两次成熟之间的水洗过程的目的是为了除去乳剂中过剩的溴化钾、硝酸钾和氨。这些物质在物理成熟过程中曾起溶剂作用。物理成熟一旦结束,这些物质就是多余的了,否则物理成熟过程将继续进行。同时多余的溴化钾将严重阻止化学成熟,硝酸钾由于其吸潮作用使干燥后的乳剂层发生粘连,氨会使乳剂层产生灰雾。乳剂在完成物理成熟之后,要在低温下迅速冷凝。冷凝的目的一方面可尽快终止物理成熟,另一方面使乳剂具备一定强度,以便切成小条进行水洗。

化学成熟也称第二次成熟或后成熟。前面已经谈过,晶体结构上无缺陷或位错的卤化银颗粒对光几乎不敏感。化学成熟过程,就是通过加入某种物质使卤化银颗粒的晶格结构受到破坏,产生更多的感光中心,这是集中在颗粒表面的一些硫化银或胶态银微粒组成的微斑。微斑集结的银原子愈多,感光中心就愈大。感光中心大,只要接受少量的光能量,就可以扩大到足以显影的程度,也就是说乳剂感光快。明胶能够吸附银离子生成络合物并进一步还原析出金属银。同时明胶中还含有少量硫化物的杂质,化学成熟时能与银离子生成硫化银,起到增感作用。除此之外,还可以加入专门的化学增感剂来提高乳剂的感光度。常用的有:硫代硫酸钠或其它含硫物质(用以生成硫化银)或是如亚硫酸钠、氯化亚锡一类的还原剂(用以将卤化银还原出银离子),也可加入少量金的化合物,如硫氰酸金,使卤化银晶体表面形成微量的金属金作为感光中心,感光度可提高 3~4 倍,细颗粒乳剂的感光度可以提高 10 倍以上。

化学增感必须适度,增感过度会形成严重的灰雾,过大的感光中心称灰雾中心。

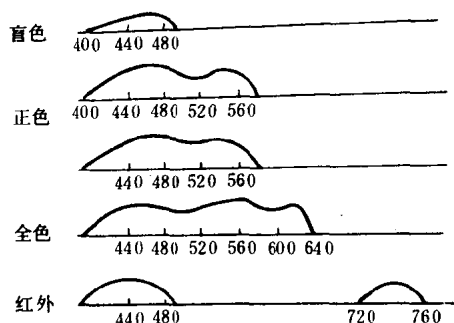


图 1-4 几种感光材料的光谱感光范围

图中各曲线的横坐标为以纳米为单位的波长,纵坐标为相对感光度

2. **坚膜剂** 乳剂层中的明胶在水中具有较高的膨胀度,膨胀后的乳剂层对机械作用和热非常敏感,常易造成机械损伤、粘连和影像变形。为了防止这些弊病,涂布前在乳剂中加入坚膜剂,以缩小乳剂膜在水中的膨胀度,提高乳剂膜的熔点和机械强度。常用的坚膜剂中,无机的有铬、铝、锆金属盐,用得较普遍的是铬矾,有机的有醛类(如甲醛、乙二醛)、酮类(如丁二酮)和高分子化合物(如聚丙烯醛)。

3. **稳定剂** 又称抗灰雾剂,常使用溴化钾或三氮茛。它们的功用是防止灰雾的产生和延长乳剂使用期限。

4. **防腐剂** 在乳剂制备过程中和感光材料保存期间,乳剂层极易被微生物腐蚀,因为乳剂层中的潮湿明胶是细菌和霉菌良好的培养剂。为避免这种霉腐现象,须往乳剂中加入防腐剂。常用的防腐剂有苯酚(石碳酸)、对氯间甲酚和麝香草酚(百里酚)等。

5. **其它** 除了以上的补加剂外,根据感光材料的不同用途还选用其它补加剂,如:增塑剂(用于防止乳剂膜层过份干燥而发脆,常用的增塑剂是甘油),抗氧化剂(用于防止增感染料被空气等氧化而失去增感作用,常用的有邻苯二酚、1-萘酚和2-萘酚),消泡剂(用于消除乳剂涂布时的泡沫在感光膜上产生气泡,常用的有乙醇或丁醇),防斑点剂(用于消除铁离子一类的金属离子的存在,以免使感光度下降或灰雾上升,常用的有乙二胺四乙酸二钠盐和曲酸等,它们能与金属离子形成络合物),表面活性剂(用于降低乳剂表面张力,提高涂布质量,常用的如二异丁基- β -萘磺酸钠盐等),紫外线吸收剂(用于防止彩色画面褪色,防护染料影像在紫外线辐射下不受破坏,常用的有杂环类化合物、芳香类化合物等),以及消除乳剂层表面光泽的消光剂,提高银颗粒遮盖本领的遮盖力剂等等。

1-1.2 片基

片基是感光层的依托。乳剂在用来摄影以前,先涂布在适当的支持体上,由它使乳剂层保持一定的形状。相纸的乳剂支持物是硫酸钡底纸基。这种纸有下列特点:颜色洁白、水浸后不变形、干燥后不起皱、有足够的强度。干板是用无色透明的平板玻璃作为乳剂层的支持体。胶片则用无色透明薄膜作为片基,目前广泛使用的有纤维素酯和合成高分子聚合物两大类。属于纤维素酯类的有硝酸纤维素和醋酸纤维素,属于合成高分子聚合物类的有聚对苯二甲酸乙二醇酯(即涤纶)、聚苯乙烯、聚碳酸酯等。

硝酸纤维素酯片基由于易燃,从本世纪40年代即已被安全的三醋酸纤维素酯片基所替代。醋酸片基是目前使用最广泛的片基材料,但它有脆性较高、不耐寒、磨损较快以及显影加工中产生收缩现象等缺点。涤纶片基又称聚酯片基具有熔点高、热稳定性好、弹性高、吸湿性小、收缩性低、平整度好、化学稳定性好以及透明度好等特点。它可以制得很薄,适合于高空、低温、高速等特殊条件下使用。目前这种片基还存在着不易粘接、静电过大等缺点。聚碳酸酯片基是由聚碳酸酯树脂制成。它具有良好的耐低温性能,并具有优良的耐热性和尺寸稳定性,但透明性和耐撕性能稍次于涤纶片基。这是一种很有发展前途的新型片基。聚苯乙烯片基是由聚苯乙烯树脂加工制成,具有吸水性小、吸湿膨胀和热膨胀小的优点,在冲洗加工过程中变形极微,所以常用作制造印刷制版、天文及测绘胶片的片基,以代替干板的玻璃片,但耐冲击强度较差。

片基的厚度直接关系到片基的透光度,折光率、机械强度和耐折次数。三醋酸纤维素酯片基的厚度在0.10~0.20mm之间,聚酯片基在0.05~0.175mm之间。

表1-2 举例说明三种片基机械性能以及几何尺寸稳定性能的比较。

表 1-2 三种片基的性能比较

	三醋酸纤维素 酯片基	涤纶片基	聚碳酸酯 片基
抗张强度(kg/mm ²)	13.2	20.0	17.5
断裂延伸率(%)	30	140	122
弹性模数(10 ⁻⁵ N/cm ²)	4.0×10 ¹⁰	3×10 ¹⁰	2×10 ¹⁰
冲击强度(kg·cm/cm ²)	30	290	82
耐折次数(厚度 0.145mm)	36	15000	>150
吸湿膨胀系数(cm/cm/°C)	30×10 ⁻⁵	0.18×10 ⁻⁵	0.4×10 ⁻⁵
热膨胀系数(cm/cm/°C)	10~15×10 ⁻⁵	2.7×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁵
吸水量(%)	6	<0.5	0.3
热变形温度(°C)	150	150	165
抗寒性(°C)	-30~-40	-60	-135

1-1.3 附加层

无论是纤维素酯片基还是聚酯片基,为达到制造各种感光材料的要求,均需在成型的薄膜上涂布附加层。附加层包括保护层、底层、防光晕层、防静电层等。

一、保护层

为了保护乳剂不受机械损伤,制作感光材料时,常在乳剂层表面涂有一层很薄(约 1~2μm)的明胶层,称为保护层。照相纸的保护层,经上光处理后,还可出现光泽,使照片鲜明美观。

二、底层

片基的表面是憎水性的,不能与亲水的乳剂层很好地粘接,涂底层的目的就是使乳剂层能牢固地粘附在片基上,防止在涂布乳剂和显影加工时乳剂层从片基上脱落。底层有两种类型,一种是胶底层,厚度约为 1μm 左右,胶底层的成分有明胶、水、有机溶剂、有机稀释剂和酸类,其中明胶作为成膜物质是基本成分;另一种是高分子树脂底层。醋酸纤维素酯片基也多已采用树脂底层代替明胶底层。相纸的底层是明胶加硫酸钡,所以又叫钡底层。钡底层除了有使乳剂与纸基粘合牢固的功用外,还有防止乳剂渗入纸质内和增加纸基反射能力等作用。

三、背面层

涂背面层(或称假漆层)的目的是防止片基产生静电、防止产生光晕或防止卷曲。具体起什么作用,要看背面层中加有什么物质来决定。

1. 防静电层 纤维素酯和聚酯都是高绝缘物质,乳剂层中的明胶也是绝缘体,这种绝缘体很易带电,而且很难自行导失。静电积累多了,就会引起放电。放电会引起感光材料感光,经显影后产生树枝状或绒毛状的斑痕,使胶片失去使用价值。即使胶片表面上的电荷达不到放电程度,由于电荷的存在能吸引尘埃等不洁物质,导致胶片产生其它弊病。因此,必须在片基背面涂