



孙扬远 黄冠华 编著 浙江大学出版社

感光材料基础

内 容 简 介

《感光材料基础》共分三个部分，即银盐感光材料、非银盐感光材料及综述。重点介绍银盐感光材料的工作原理、特性及其冲洗加工技术。

本书的特点是：概述了银盐、非银盐、等几种重要感光材料的今后发展趋势，介绍了八十年代新技术光盘的基本原理；银盐材料的写法吸取了80年代出现的许多新成就，其中《信息容量和分辨率》尤具特色，《暗房技术》包含了最新出现的配方。

感 光 材 料 基 础

孙 扬 远 编 著
黄 冠 华
责任编辑 陈子饶

• • •
浙江大学出版社出版
浙江大学印刷厂印刷
浙江省新华书店发行
• • •

开本850×1168 1/32 印张：10.0625 字数：255千字

1990年6月第一版 1990年6月第一次印刷

印数：0001—3000

ISBN 7-308-00544-5

TP·039 定价：2.65元

前 言

摄影技术已经渗入到人类活动的各个方面。它已不限于业余摄影、职业摄影、新闻摄影和电影等这几个领域。在这些领域中每年耗用的感光胶片还不到全世界生产量的一半。由于摄影能准确地记录事件发生的过程,甚至能记录遥远的、无法接近的或者看不见的现象,它已愈来愈广泛地成为进行各种重要科学研究的有力工具,或成为其他非摄影过程的一个辅助部分。

和许多近代技术一样,只有当所有物理—化学条件都能很好满足时,摄影技术才能充分发挥作用。特别是在科学和技术摄影中,掌握摄影原理的知识更是必不可少的。感光材料是摄影系统中重要组成部分,正确了解它的各种特性,就能在同样的工作条件下记录更多、更清晰的信息。

自从1851年第一次用银盐感光材料摄影并获得成功以来,经过一个多世纪的历程,银盐感光材料有了极大的发展。据统计,世界银盐感光材料的总产量,折合成35毫米胶片计算,到1983年就已经超过250亿米,700多个品种。有关成像、显影、片基和生产工艺等基本理论的研究以及标准化、测试技术等与非银盐感光材料相比,较为成熟和完整;它又是当今使用最广泛的一种感光材料,因此是本书主要介绍的内容。

非银盐感光材料也经历了一百多年的发展,特别自第二次世界大战以后,进展十分迅速。在文件复制、缩微胶片、微电子工业和照相制版等方面,已逐渐取代了银盐感光材料,而且应用范围还在不断扩大。近年来,国际上非银盐体系的学术活动非常活

跃，每年都召开国际性学术会议。本书限于篇幅，将重点介绍静电感光材料和光致抗蚀剂的工作原理及其特性。

各类感光材料，作为信息记录和存储介质既有体积小，存储密度大和保存时间长等优点，也有只能一次使用，不能抹掉（已存储的信息）重复使用的缺点。光盘的出现，弥补了这一缺陷，所以近几年来取得了引人注目的进展。本书第九章将对可重复抹写的光盘材料作一简要的介绍。

本书第三、五、七章由黄冠华同志编写，其余各章由孙扬远同志编写，董太和教授主审。他对本书的内容和编排提出了不少宝贵和中肯的意见，并为编者提供了有关的资料，谨向他表示衷心的感谢。编者还要感谢郁伟同志，他为本书绘制了部分插图。

由于作者水平有限，书中内容有不当之处，请读者批评指正。

编 者

1989年10月

目 录

第一部分 银盐感光材料

第一章 银盐感光材料的结构	3
§1-1 引言.....	3
§1-2 对片基的基本性能要求.....	3
§1-3 片基材料及性能.....	5
§1-4 影响片基几何尺寸稳定性的诸因素.....	7
§1-5 玻璃片基.....	12
§1-6 纸基.....	12
§1-7 感光乳剂层.....	17
§1-8 辅助涂层.....	26
§1-9 感光乳剂层的特性曲线.....	28
§1-10 几种常用的胶片尺寸.....	32
参考文献.....	36
第二章 潜像	37
§2-1 潜像的性质.....	37
§2-2 潜像形成的机理.....	41
§2-3 互易律及其失效.....	47
§2-4 导致负感或反转的潜像效应.....	55
§2-5 X射线与带电荷粒子产生的效应.....	58
参考文献.....	61
第三章 彩色感光材料	62
§3 1 引言.....	62

§3-2	彩色片原理	64
§3-3	多层彩色片	70
§3-4	蒙罩	86
§3-5	彩色片的特性及其发展	90
	参考文献	94
第四章	感光度测量	95
§4-1	引言	95
§4-2	感光度的单位及计算方法	96
§4-3	感光度计	111
§4-4	冲洗加工	112
§4-5	密度测量	115
§4-6	感光度测量结果的表达与应用	118
	参考文献	129
第五接	暗房技术	130
§5-1	暗房照明	130
§5-2	黑白感光材料的冲洗	133
§5-3	彩色感光材料的冲洗	139
§5-4	彩色片的色再现	153
	参考文献	158
第六章	信息容量和分辨力	159
§6-1	引言	159
§6-2	乳剂层的三个基本情况	160
§6-3	光渗现象与邻界效应	175
§6-4	摄影记录中的信噪比	182
§6-5	乳剂的信息容量	193
§6-6	感光乳剂层的传递函数	200
	参考文献	208

第二部分 非银盐感光材料

第七章 静电感光材料	211
§7-1 概况.....	211
§7-2 静电摄影原理.....	212
§7-3 光导层.....	213
§7-4 光导涂层的敏化.....	220
§7-5 静电潜像.....	221
§7-6 静电潜像的显影.....	221
§7-7 转印和定影.....	234
参考文献.....	234
第八章 光致抗蚀剂（光刻胶）	235
§8-1 光致抗蚀剂的类型.....	235
§8-2 光致抗蚀剂的感光度及其测定.....	239
§8-3 光致抗蚀剂的物理特性与最佳曝光条件.....	244
§8-4 光致抗蚀剂的反差特性对光刻工艺的影响.....	251
§8-5 光致抗蚀剂的新发展.....	258
参考文献.....	258

第三部分 综述

第九章 感光材料的发展	269
§9-1 银盐感光材料的发展.....	269
§9-2 非银盐感光材料在缩微复制领域中的应用.....	288
§9-3 热敏成像.....	291
§9-4 光盘.....	296
参考文献.....	313

第一部分

银盐感光材料

第一章 银盐感光材料的结构

§1.1 引言

银盐感光材料的基本结构由感光乳剂层和支持体二大部分所组成，如图1-1所示。乳剂层的层数根据不同的用途有单层

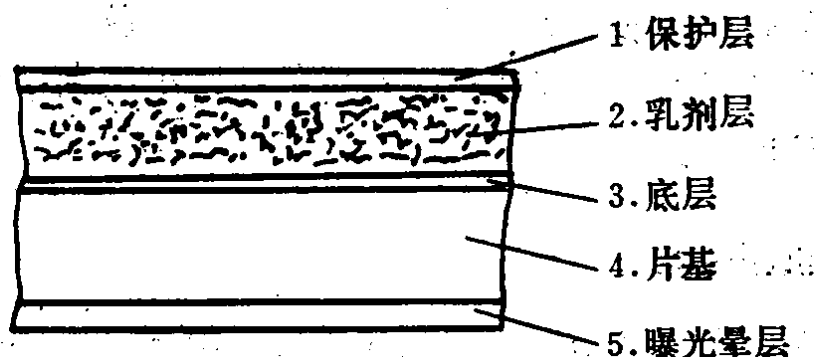


图1-1 胶片的结构

和多层之分，如彩色胶片即为多层乳剂层。乳剂层厚度也因用途不同而不等，在2微米左右到25微米之间。一些特殊用途的感光材料，其乳剂层厚度大于25微米。

支持体根据材料不同，可以分为：(1) 片基；(2) 纸基；(3) 玻璃片基。以片基作乳剂层支持体的统称胶片。它具有重量轻，尺寸稳定性和化学稳定性好，便于携带和贮存等优点，是应用最广泛的感光材料。

§1.2 对片基的基本性能要求

各类胶片对片基的厚度、透明度、机械性能、化学稳定性和

几何尺寸稳定性等的要求，因用途不同而不完全相同。

一、透明度

对片基的基本性能要求之一是片基本身应为无色，并具有良好的透明度。即没有灰雾，杂质，表面不规则和折射率不均匀等现象。通常无色透明片基的透光率要在90%以上（或光密度小于0.03）。有些片基，由于要改善胶片的成像性能，需要着色。例如黑白电影负片，135胶卷，声带负片使用带蓝紫色的片基，以便在拷贝正片时，让蓝紫光通过，可使涂色盲乳剂层的电影正片曝光，同时吸收蓝紫光以外的可见光，避免引起光晕和光渗现象，从而提高正片的分辨力和清晰度。X—光胶片片基多为浅蓝色，这是为了使人们在读片时，视觉舒适，但无助于提高影像的分辨力和清晰度。

二、机械性能

胶片在生产、摄影、洗印和使用过程中要多次经受各种机械力的作用，因而必须使片基具有一定的机械强度和柔韧性。片基的机械性能用抗拉断强度，断裂延伸率，弹性模数，冲击强度和耐折次数等技术指标表示。

三、几何尺寸稳定性

用于摄影测量的胶片或在拍摄和工作时要用齿孔传动的胶片都要求片基有较高的尺寸稳定性。胶片变形是指物体摄影影像的尺寸相对其光学形象尺寸所发生的变形，是影响摄影测量精度的一个主要因素。片基的几何尺寸稳定性常用如下技术指标表示：

1. 吸湿膨胀系数 片基因周围环境的相对湿度变化吸收（或释放）空气中的水分而引起几何尺寸变化的比值。

2. 浸水吸水量 用百分比表示。

3. 热膨胀系数 通常指片基在不同温度下，与片基平面平行的水平尺寸变化的比值。

4. 热变形温度。片基加热到产生塑性变形时的温度。

5. 抗寒性 片基在低温下韧性及耐冲击性的变化量。

四、导电性

片基材料都是不良的导体，极易因摩擦产生静电，在生产、检验、包装和使用时，往往由于静电效应使感光材料曝光而报废。片基的导电性用体积电阻或表面电阻表示。电阻越小，导电性越好，片基的静电效应就少。

五、化学稳定性

对片基的化学稳定性的二个主要要求是：

1. 在受热，光照以及在弱酸、弱碱等化学药品作用下，不发生化学分解和引起变质现象。

2. 对涂在片基上的照相乳剂层不发生化学作用，不降低乳剂的感光度和不增加灰雾。

§1.3 片基材料及性能

片基材料有两大类：纤维素酯片基和聚酯片基。

一、醋酸纤维素酯片基（简称醋酸片基）

在聚酯片基未问世前，醋酸纤维素酯一度是制造片基的唯一材料。醋酸片基虽然在机械强度，尺寸稳定性等方面不及聚酯片基，但接片工艺简便，能够满足电影制片，洗印，剪辑和放映等要求。同时，生产工艺比较成熟，生产设备有一定的使用期，因

此仍被广泛地使用。在较长一段时间内，将和聚酯片基共存。

二、聚酯片基

最早促使人们去探索新的片基材料的原因是由于醋酸片基有较大的吸水性。用合成聚酯片基代替醋酸片基的研究工作始于四十年代。1956年美国杜邦公司首先用涤纶薄膜作成片基。由于其机械性能、几何尺寸稳定性等都优于醋酸片基，一些大的胶片生产公司，如美国的伊斯曼--柯达公司，德国的阿克发--吉伐公司和日本的富士公司、小西六公司等相继生产聚酯片基。目前，用聚酯片基的胶片生产量已经超过了醋酸片基胶片的产量。

聚酯片基有二类：

- 1. 聚对苯二甲酸乙二醇酯片基 它的商品名称就是涤纶片基。
- 2. 聚碳酸酯片基 1957年开始在德国生产。它的物理、化学和机械性能与涤纶片基相似。由于聚碳酸酯能溶于二氯甲烷，可以用制造醋酸片基的设备和方法，稍加改造后，转产聚碳酸酯片基，是这类片基得以较快发展的一个重要因素。

表 1-1 列出了三种片基的主要物理、光学和机械性能。

表1-1

物理和光学性能	醋酸酯片基	涤纶片基	聚碳酸酯片基
比重	1.28	1.39	
折射率	1.48	1.64	
吸水量百分数(在21℃水中浸泡24小时)	5.5	0.5	0.3
上述情况下的膨胀率	0.5~0.6	0.07	

续 表

机械性能			
抗张强度(kg/mm ²)	13.2	20.0	17.5
断裂延伸率(%)	35	110	12.2
杨氏模量(10 ⁴ kg/cm ²)	3.9	4.6	
耐折次数(胶片厚度0.145mm)	45	10.000	>150
撕裂强度(g/mm厚度)	50	170—300	
冲击强度(kg·cm/cm ²)	30	290	82
耐热性能			
热膨胀系数(10 ⁻⁵ /°C)	5.4	1.8	7.5
软化温度(°C)	150	180	165

§1.4 影响片基几何尺寸稳定性的诸因素

一、热变形

片基受热变形都是可逆的。不同的片基材料，热膨胀系数有很大差异。图 1-2 是几种片基材料的热膨胀系数的比较，片基材料中以聚酯片基的热膨胀系数为最小，约为醋酸片基的 1/3，是玻璃片基的一倍。

二、湿度引起的尺寸变化

胶片的尺寸因吸收空气中的水分而增大，因干燥而缩小。聚酯片基的吸湿膨胀系数要比醋酸片基小得多。在相对湿度 15~50%RH 之间，湿度每增加 1%RH，二种片基的吸湿膨胀系数如下：

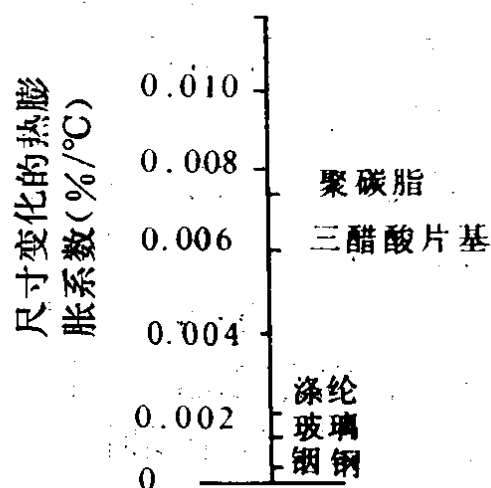


图1-2 不同片基材料的摄影胶片热膨胀系数与玻璃、钢的热膨胀系数的比较

醋酸片基	0.007%
聚酯片基（厚度0.10mm）	0.003%
（厚度0.18mm）	0.002%

根据片基受热和吸湿膨胀的特性，一条重要的经验法则是：当对胶片有较高的尺寸稳定性要求时，在使用摄影记录时，周围环境的温度和湿度应与该胶片在拍摄时的条件相同。胶片与周围空气达到平衡所需要的时间约为半小时。当使用要求非常严格时，不仅在曝光过程中，而且在尔后的使用中，都要使胶片先达到与周围的湿度、温度平衡。

三、冲洗过程中片基尺寸的变化

胶片在冲洗过程中，由于不断地浸在几种含水的溶液中，它们之间的pH值变化又很大，会对胶片产生永久性的尺寸变化。它对聚酯片基影响较小，但对醋酸片基，这种变化不容忽视。这是由于在片基生产过程中，必然会在体内含有残留溶剂。在冲洗过程中，这些残留溶剂被不同的水溶液所取代，然后在干燥过程中被蒸发掉。最后残留的水份必然与胶片生产时片基中残留的溶剂成份和含量都不相同，这就导致尺寸的变化。

感光胶片是在片基上涂以单层或多层的感光乳剂层，是非匀质结构。这一特性导致在冲洗时有几种尺寸变化的因素。明胶涂层干燥时，会给片基产生可观的收缩力。当胶片浸泡在冲洗溶液中时，明胶层泡胀，这些应力就全部释放出来。根据片基的杨氏模量和内应力程度，在冲洗过程中片基的尺寸或多或少增加了。随后，明胶涂层干燥时，片基再次收缩。即使周围环境仍恢复到冲洗前的温度与湿度条件，也不能恢复其原始尺寸。对醋酸片基来说，冲洗过程中尺寸变化是把片基中的残留溶液的蒸发及明胶层应力变化的影响二者叠加起来。由于聚酯片基完全不透水和不含残留溶液，因此尺寸变化只受到明胶层应力变化的影响。

对各种不同片基的胶片来说，造成尺寸变化的最主要因素是环境温度与湿度的变化和冲洗过程的影响。表1-2是以 0.10 厚度的涤纶片基胶片为例，上述几种因素产生的变化量。

表1-2

大气条件	情 况 I	情 况 II	情 况 III
曝 光 时	冷，湿 (21°C, 60%R.H.)	热，干燥 (30°C, 30%R.H.)	冷，干燥 (21°C, 30%R.H.)
经冲洗后，胶片 在使用时	热，干燥 (32°C, 30%R.H.)	正 常 (21°C, 40%R.H.)	热，湿 (30°C, 60%R.H.)
尺寸变化率			
冲洗	- 0.02	- 0.01	- 0.01
温度条件	+ 0.02	- 0.02	+ 0.02
湿度变化	- 0.08	+ 0.03	+ 0.08
尺寸净变化率	- 0.08	0.00	+ 0.09

对等效的醋酸片基胶片来说，变化要大得多。在与表 1-2 中情况 I 相同的环境和冲洗条件下，收缩量要增加一倍(- 0.15%)，而在情况 III 时，延伸量几乎要增加二倍(+ 0.25%)。

胶片在冲洗后进行干燥时，周围空气的温度和湿度同样影响胶片的尺寸稳定性。因此，可根据空气中的湿度，选用合适的干燥温度来抵消因冲洗而引起的尺寸变化。表 1-3 以涤纶片基在照

表1-3

周围空气的相对 湿度， %	涤纶片基胶片，为消除冲洗引起尺寸变化， 干燥器选用最佳的温度范围(°C)
30	39—42
40	42—47
50	50—56
60	58—61

相凸版中用于制作网版和线条为例，列出在不同空气湿度下，干燥器的最佳温度范围。

与醋酸片基相反，聚酯片基在很低的相对湿度下，即过干燥时，尺寸会稍微增大。在正常湿度下干燥时，略有收缩。如图 1-3 所示。这一现象是可逆的，因此可以用反复浸湿和干燥的过程来校正微小的尺寸变化。由于聚酯片基的高度尺寸稳定性，在摄影测量中被广泛的采用。

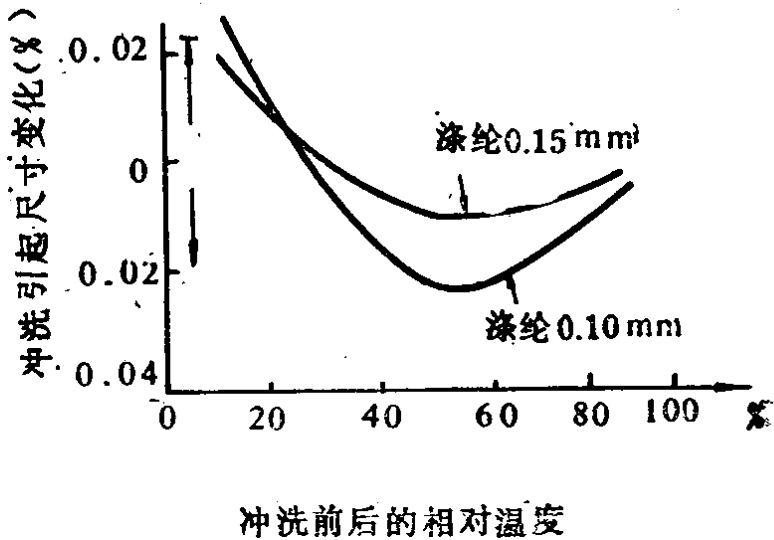


图1-3 涤纶片基的胶片因冲洗引起尺寸变化

四、老化收缩

醋酸片基用于电影制片时，它的一个特性必须予以注意。就是底片在长期贮存后会缩短，即老化收缩。当一张旧的电影片要拷贝时，这个不需要的尺寸变化就能感觉到了。它不但要影响银幕上像的稳定性，还要影响复制的质量。为了避免产生这种现象，在生产用于电影负片（底片）的胶片时，齿孔的间距要比正片短 0.2%。经过冲洗后的负片，收缩主要发生在贮存期的第一年。从第三年起稳定下来。这类胶片由于冲洗和贮存而引起

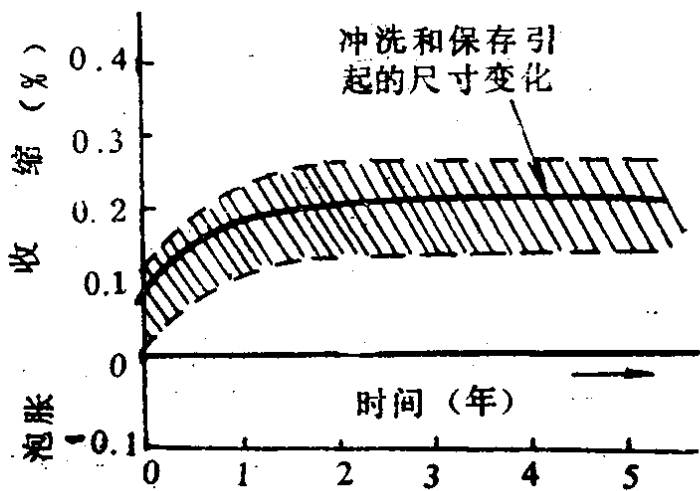


图1-4 三醋酸片基的电影负片的老化收缩