

北京电影学院图片摄影专业系列教材



马松年 编著

# 感光材料应用基础

辽宁美术出版社

135286

TR84  
95-8  
北京电影学院图片摄影专业系列教材

# 感光材料应用基础

马松年 编著



印院 S098521A

辽宁美术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

DM92/14

感光材料应用基础 / 马松年编著. — 沈阳: 辽宁美术出版社, 1995. 7

北京电影学院图片摄影专业系列教材

ISBN 7-5314-1250-0

I. 感… II. 马… III. 感光材料-应用-高等学校-教材  
IV. TB84

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第03682号

### 感光材料应用基础

GAN GUANG CAI LIAO YING YONG JI CHU

马松年 编著

辽宁美术出版社出版

辽宁美术印刷厂印刷

(沈阳市和平区民族北街29号)

辽宁省新华书店发行

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 10 插页 4 字数: 19.2 万字

印数: 7861—17861

1995年7月第一版

1996年9月第三次印刷

责任编辑: 靳福堂

装帧设计: 达 歌

封面设计: 宿志刚

责任校对: 侯俊华

ISBN 7-5314-1250-0 / J · 564

定价: 22.60 元

# 目 录

## 第一章 感光材料的种类与构造

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 1-1 概述 .....           | 1  |
| 一 感光材料的发展沿革 .....        | 1  |
| 二 常用摄影术语简介 .....         | 4  |
| § 1-2 感光材料的种类 .....      | 6  |
| 一 感光胶片(载体为透明的片基) .....   | 7  |
| 二 照相纸 .....              | 9  |
| § 1-3 黑白感光材料的构造 .....    | 9  |
| § 1-4 片基与乳剂层的组成及特性 ..... | 14 |
| 一 片基的组成与特性 .....         | 14 |
| 二 乳剂层的组成及其特性 .....       | 16 |
| § 1-5 感光材料生产过程概述 .....   | 20 |
| 一 乳剂制备 .....             | 20 |
| 二 涂布 .....               | 23 |
| 三 整理加工 .....             | 24 |
| § 1-6 感光材料的保存 .....      | 25 |

## 第二章 黑白感光材料的冲洗

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| § 2-1 | 曝光和潜影 .....          | 27 |
| 一     | 潜影的形成 .....          | 27 |
| 二     | 潜影的衰退与加强 .....       | 30 |
| § 2-2 | 显影的原理 .....          | 32 |
| 一     | 显影的实质 .....          | 32 |
| 二     | 化学显影与物理显影 .....      | 33 |
| § 2-3 | 显影液的成分及常用药品 .....    | 34 |
| 一     | 显影剂 .....            | 34 |
| 二     | 促进剂 .....            | 40 |
| 三     | 保护剂 .....            | 42 |
| 四     | 抑制剂 .....            | 45 |
| 五     | 其它辅助成分 .....         | 45 |
| § 2-4 | 显影液的配方及其特性 .....     | 46 |
| 一     | 微粒显影液 .....          | 46 |
| 二     | 超微粒显影液 .....         | 50 |
| 三     | 高清晰度显影液 .....        | 53 |
| 四     | 增感微粒显影液 .....        | 55 |
| 五     | 软调显影液 .....          | 58 |
| 六     | 高反差显影液 .....         | 61 |
| § 2-5 | 显影速度 显影程度与影像质量 ..... | 66 |
| 一     | 显影速度与显影程度 .....      | 66 |
| 二     | 底片影像质量分析 .....       | 69 |
| § 2-6 | 定影和水洗 .....          | 73 |
| 一     | 定影液的成分及典型配方 .....    | 73 |

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 二     | 定影速度与定影液的消耗 .....    | 77 |
| 三     | 水洗 .....             | 79 |
| § 2-7 | 各种冲洗方法 .....         | 81 |
| 一     | 常规冲洗法和停显处理 .....     | 81 |
| 二     | 双浴显影法 .....          | 82 |
| 三     | 高温显影法 .....          | 83 |
| 四     | 快速显影法 .....          | 85 |
| 五     | 单浴显影-定影法(显定合一) ..... | 86 |
| 六     | 反转冲洗法 .....          | 88 |
| § 2-8 | 减薄 加厚与调色 .....       | 93 |
| 一     | 减薄 .....             | 93 |
| 二     | 加厚 .....             | 95 |
| 三     | 调色 .....             | 97 |

### 第三章 黑白感光材料的性能与应用

|       |                     |     |
|-------|---------------------|-----|
| § 3-1 | 感光特性曲线 .....        | 108 |
| 一     | 曝光量和密度 .....        | 108 |
| 二     | 感光特性曲线 .....        | 110 |
| § 3-2 | 感光测定的基本过程 .....     | 113 |
| 一     | 曝光 .....            | 113 |
| 二     | 冲洗 .....            | 117 |
| 三     | 测量密度 .....          | 118 |
| 四     | 绘制特性曲线和求取性能数据 ..... | 119 |
| § 3-3 | 灰雾密度 $D_0$ .....    | 121 |
| 一     | 灰雾密度的意义 .....       | 121 |
| 二     | 过期胶片的使用 .....       | 122 |

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| § 3-4  | 反差系数 $\gamma$ .....    | 123 |
| 一      | 反差 .....               | 123 |
| 二      | 反差系数 .....             | 124 |
| 三      | $\gamma$ 在摄影中的应用 ..... | 126 |
| 四      | 平均斜率 $\bar{G}$ .....   | 128 |
| § 3-5  | 感光度 $S$ .....          | 130 |
| 一      | 感光度与其确定的依据 .....       | 130 |
| 二      | 几个重要的感光度标准 .....       | 131 |
| 三      | 摄影实用感光度实验 .....        | 136 |
| § 3-6  | 宽容度 $L$ .....          | 140 |
| 一      | 宽容度的意义和表示方法 .....      | 140 |
| 二      | 宽容度在摄影中的应用 .....       | 141 |
| § 3-7  | 感光材料的细部再现特性 .....      | 145 |
| 一      | 颗粒性和颗粒度 .....          | 145 |
| 二      | 分辨率 .....              | 147 |
| 三      | 清晰度和锐度 .....           | 150 |
| 四      | 模量传递函数(MTF) .....      | 150 |
| § 3-8  | 感色性 .....              | 154 |
| 一      | 感色性及其分类 .....          | 154 |
| 二      | 分光感光特性测定和感色性实验 .....   | 155 |
| 三      | 感色性的应用 .....           | 159 |
| § 3-9  | 各种因素对感光性能的影响 .....     | 162 |
| 一      | 乳剂固有特性的影响 .....        | 162 |
| 二      | 保存过程的影响 .....          | 165 |
| 三      | 显影条件的影响 .....          | 165 |
| 四      | 曝光条件的影响 .....          | 170 |
| § 3-10 | 对黑白负片性能的综合认识及其选用 ..... | 170 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| § 3-11 照相纸的性能 ..... | 174 |
| 一 感光度 .....         | 174 |
| 二 反差特性 .....        | 175 |
| 三 最大密度 .....        | 178 |
| 四 耐冲性 .....         | 178 |

## 第四章 光和色

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| § 4-1 三原色视觉原理和加色效应 ..... | 183 |
| 一 电磁波和可见光 .....          | 183 |
| 二 人眼视觉的生理机制 .....        | 184 |
| 三 三原色视觉原理 .....          | 186 |
| 四 加色效应 .....             | 187 |
| § 4-2 物体对光的吸收和减色效应 ..... | 189 |
| 一 物体对光的吸收特性 .....        | 189 |
| 二 减色效应 .....             | 192 |
| 三 光源的颜色对物体色的影响 .....     | 195 |
| § 4-3 视觉适应 .....         | 196 |
| 一 亮度适应 .....             | 196 |
| 二 色觉适应 .....             | 198 |
| § 4-4 色的基本特征与表征方法 .....  | 201 |
| 一 色的三个基本特征 .....         | 201 |
| 二 色的表征方法 .....           | 204 |

## 第五章 彩色感光材料的构造和冲洗

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| § 5-1 多层彩色感光材料的构造 ..... | 213 |
|-------------------------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 一 各种彩色感光材料的基本构造 .....     | 213 |
| 二 乳剂层及其排列顺序 .....         | 216 |
| 三 成色剂 .....               | 218 |
| 四 其它构造层 .....             | 228 |
| § 5-2 多层彩色感光材料的成色过程 ..... | 228 |
| 一 经彩色负片制作照片的成色过程 .....    | 228 |
| 二 彩色反转片的成色过程 .....        | 231 |
| § 5-3 多层彩色感光材料的冲洗 .....   | 233 |
| 一 冲洗药液的成分及常用药品 .....      | 233 |
| 二 彩色感光材料的冲洗过程 .....       | 242 |
| 三 柯达克洛姆彩色反转片的加工原理 .....   | 247 |

## 第六章 彩色感光材料的性能与应用

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| § 6-1 彩色感光材料的感光特性 .....      | 252 |
| 一 彩色胶片的感光测定概述 .....          | 252 |
| 二 彩色负片的感光特性 .....            | 254 |
| 三 彩色反转片的感光特性 .....           | 260 |
| 四 彩色照相纸的感光特性 .....           | 265 |
| § 6-2 乳剂性能及使用条件对色平衡的影响 ..... | 268 |
| 一 乳剂性能的影响 .....              | 269 |
| 二 拍摄条件的影响 .....              | 275 |
| 三 显影的影响 .....                | 284 |
| 四 保存条件的影响 .....              | 285 |
| § 6-3 彩色画面制作中的配光校色原理 .....   | 287 |
| 一 画面偏色的原因 .....              | 287 |
| 二 加色法的配光校色 .....             | 288 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 三     | 减色法的配光校色 .....           | 289 |
| § 6-4 | <i>DX</i> 编码系统及其作用 ..... | 292 |
| 一     | 信息板与直读性条码注释 .....        | 293 |
| 二     | 照相机自动识别码 .....           | 295 |
| 三     | 暗盒条码 .....               | 297 |
| 四     | 潜影条码 .....               | 299 |
| 五     | 片头穿孔码 .....              | 301 |

## 第七章 非常规彩色感光材料

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| § 7-1 | 银漂法彩色感光材料 .....   | 305 |
| § 7-2 | 波拉彩色一步法感光材料 ..... | 308 |

# 第一章 感光材料的种类与构造

**内容提要：**感光材料的发展沿革、种类、用途及其特性；黑白感光材料的构造和各部分的功用；感光材料制造的基本过程及对保存条件的要求。

## § 1-1 概述

### 一 感光材料的发展沿革

感光材料作为摄影过程中记录光学影像的媒介和摄影影像的载体，与摄影术同时诞生，至今已有 150 多年的历史。世界上第一张永久性摄影画面，并非用我们现在通常使用的卤化银感光材料制作的，1826 年尼普斯把沥青涂布于白蜡板上，然后用于拍摄，大约进行了 8 个小时曝光，再用熏衣草油冲洗，曝光的沥青失去可溶性，未曝光的沥青则被溶解，从而形成影像。在这前后有很多人对于摄影方法进行了研究。达盖尔等人于 1839 年研究成功达盖尔摄影法即银板摄影法。他们是把银板或镀银的铜板，放在碘蒸气上熏蒸，使其表面上形成可感光的碘化银，再把银板放入

照相机中，进行拍摄曝光（约 30 分钟）形成潜影，然后用汞蒸气熏蒸已曝光的银板，显影生成汞齐，最后用食盐水进行定影，洗去未曝光显影的碘化银，成为稳定的可见影像。这是第一个具有实用价值的摄影方法，也是第一个制造成功的卤化银感光材料。这一年就是摄影术发明的时间。银板摄影法在欧美风行了多年。

由于银板摄影感光材料的制造和使用都不够方便，很多人对把卤化银微晶分散到一定的介质中制备感光材料，进行了各种研究和探索。1848 年维克托把碘化银分散到鸡蛋清里，做成感光材料（曝光 5~15 分钟）；1857 年阿萨把碘化银分散在火棉胶中，涂在玻璃板上，拍摄曝光后用焦性没食子酸显影。由于干燥后感光度大幅度下降，只能随用随制，趁湿拍摄，无法实现工业生产。但因其感光度较高（曝光 10~1 分钟），也曾风行一时，这就是著名的湿板摄影法。1871 年阿多克斯把溴化银分散于明胶中制成溴化银干板，干燥后可贮存较长时间，并有更高的感光度（曝光几分之一秒）。这种乳剂已初步具备了现代感光材料乳剂的基本模式，也提供了工业化生产的基本条件。

用上述方法制造的感光材料，无论是哪一种，都只能对可见光中的蓝紫光感光，纪录被摄体中的蓝紫光成分，拍摄制作的画面和人眼对被摄体的观察效果存着很大差异。1873 年维哥尔把某些染料加入乳剂中，发现感光材料对绿光具有了敏感性，此后用同样的方法使感光材料对红光也产生了敏感性，这种方法称作光谱增感。这样做不但提高了感光材料的感光度，而且也使影调有了明显的改进，更符合人眼的视觉感受。

1888 年卡巴特成功地把感光乳剂涂布在赛璐珞薄片上，成为使用更为方便的照相胶卷，也为感光材料用于电影的摄制提供了可能性。但早期的片基是用硝酸纤维素制成，很容易燃烧着火，极不安全，直到 1930 年以后，才逐步为醋酸纤维素片基所取代，

这就是直到现在还在使用的“安全片基”。

在以后的几十年里，随着感光科学的不断发展，乳剂的感光性能也有了大幅度的提高，为各种条件下的摄影工作提供更大的方便。

以彩色画面再现自然景色，这是人们久已向往的。然而以摄影手段实现这一想法，必然是在人们对颜色问题有所认识及黑白摄影发明之后。

1861年麦克斯韦首先根据三原色理论和加色法原理，通过黑白摄影的方法，加用适当的滤色片，制作了红、绿、蓝三个单色的透明画面，然后以投影的方式，叠放于银幕上，产生了人类的第一幅彩色摄影画面。1869年豪伦又按照减色法原理成功地制作了透射的和反射的彩色感光材料。

无论是加色法还是减色法，在理论上都是可行的，但实现这些想法则必须解决感光乳剂对蓝、绿、红光的敏感性问题。在此之前彩色摄影的某些成功，是依赖于一些偶然因素的存在。直到1873年之后，光谱增感方法的出现，彩色感光材料的制造才有了坚实的技术基础。因此，本世纪初曾出现了各种各样的加色法和减色法的彩色摄影方法和彩色感光材料，但多因方法复杂和质量欠佳而遭淘汰。

1935年美国哥杜斯基和曼内斯等研制生产了以彩色显影成色的外偶法（可生成染料的成色剂放在显影液中）的柯达克洛姆胶片，即涂布三层乳剂的彩色反转片。所制作的彩色画面质量令人满意，但其冲洗过程相当复杂，大都在专门的加工部冲洗，摄影者个人难以解决，这给摄影者的工作带来了某些不便。然而该种胶片因其影像质量甚佳，至今仍是柯达公司的一种专业型胶片。

1936年阿克发公司制造了水溶型内偶法（成色剂加入乳剂中）多层彩色胶片，从而使彩色感光材料的多层模式大体固定。

内偶法胶片大大简化了冲洗过程，因而成为彩色感光材料的主流。

1942年美国柯达公司把油溶型内偶法多层彩色负片和彩色照相纸投向了市场，开始了油溶型感光材料和水溶型感光材料的长达30多年的竞争，直到70年代初油溶型感光材料以其良好的性能，占据了彩色摄影的主要市场，阿克发公司也放弃原有的配方和工艺，转向油溶型彩色感光材料的生产。

除上述占主流地位的彩色显影成色的感光材料外，1964年汽巴公司大量生产了色彩饱和、色牢度好、清晰度高的银漂法彩色感光材料。1963年波拉公司发明了不用暗室加工的一步法彩色感光材料，1972年经改进后大量生产并投入了市场，该感光材料装入专用照相机中，拍摄后短时间内可自动显出影像，因其使用方便而在某些领域独显其长。

从本世纪30年代至今，彩色感光材料的生产有了惊人的发展，特别是最近20几年来，感光乳剂制造技术可以认为有了一个飞跃，已经成为一种高科技产品。更新换代的频率更快，过去大约十年换代一次，而现在大约十年换代二至三次；感光度、清晰度、颗粒性以及彩色再现质量等方面的性能都有了大幅度提高，所有这些，在一定程度上都显示了某种质的变化。感光材料性能的改进，为摄影画面的制作提供了更加丰富的技术手段，从而为摄影创作提供更加广阔的空间。

## 二 常用摄影术语简介

在摄影过程的拍摄曝光、冲洗、制作正像及影像质量的评价中，常常用到一些摄影领域中专用的术语，这些术语的严格意义及其应用将在本书中逐一进行论述。但其中有一些接触摄影和感光材料就必须使用的术语，这里先作一粗浅的介绍。

## 1 密度

这里仅谈及黑白感光材料。粗略地理解，密度就是感光材料在曝光、冲洗后变黑的程度。在一定冲洗条件下，拍摄的画面中曝光多的部位变黑的程度大，即密度大；曝光少的部位变黑的程度小，即密度小。一般情况下在底片上产生的影像明暗和被摄体的明暗是相反的，常称这种影像为“负像”。影像密度的大小除和曝光有关外，还和冲洗条件有关。

## 2 反差和影调

反差是指景物或影像的明暗对比的状况，明暗对比强烈者称反差大，明暗对比平淡者称反差小。一般地说，景物晴天时反差大，阴天时反差小；感光材料中负片影像的反差小，正片和照片的影像反差大。

影调也称调子，它是对影像的反差和密度大小综合地、定性描述。影响影调的主要因素是反差。影像反差大称影调硬，反差小称影调软。正像总体密度大称影调暗（低调），正像总体密度小称影调亮（高调）。

## 3 感光度

感光度是感光材料对光照的敏感程度的衡量标志。拍摄同一景物时，使用感光度高的胶片，应曝光较少（用较短的曝光时间或较小的光圈），使用感光度低的胶片，应曝光较多（用较长的曝光时间或较大的光圈）。

## 4 影像的细部和层次

影像的细部是指感光材料上记录的影像细微部分的明暗变化，变化多就称细部多，反之就称细部少。例如我们的头发总的印象是黑色的，但不是漆黑一片，有黑和更黑、不太黑的差别，这样看上去才像头发，否则就不像。白色、灰色的物体同样也有很多细部变化。影像的细部多，也称层次丰富，细部少，也称层

次少或缺乏层次。

## 5 宽容度

被摄景物中有的部分很亮，有的部分很暗，摄影时，有的胶片可以把亮部和暗部的细部都纪录下来，这种胶片就称宽容度大。有的胶片则不能都纪录下来，纪录了亮部，暗部就会有损失；纪录了暗部，亮部就会有损失，这种胶片就称宽容度小。实际摄影中总是希望宽容度大一些。

## 6 质感

这是观察正像画面时，对被摄体的质地表面感觉的一种描述。一幅技术质量良好的画面中，物体是瓷的还是泥的，衣服是棉织的还是丝织的、毛织的，被摄者是青年人还是老年人等等，都很容易作出判断，其中重要的原因就是质感不同。质感的好坏是一种综合地、定性地描述。它与画面的细部多少、反差大小、密度大小、画面颗粒的粗细等各种因素都有密切的关系。

## 7 灰雾密度

感光材料冲洗加工后，未曝光的部位（如片边或分格线）也产生一定的密度，这就是灰雾密度也简称灰雾。一般地说，感光材料的灰雾越小越好。

# § 1-2 感光材料的种类

感光材料的种类极多，分类的方法也各种各样。通常按照感光材料的载体质料，可分为感光胶片和感光纸，它们又各有黑白和彩色之分，按照其用途、性能、加工工艺等又可以分为更多的细类。下面作扼要介绍。

## 一 感光胶片（载体为透明的片基）

### 1 黑白胶片

#### ① 负片

负片用于拍摄实际景物。将负片装入照相机中，进行拍摄曝光，经过冲洗加工，在胶片上可产生与景物明暗相反的负像，成为一般印片、放大用的底片。负片性能的特点是：感光度高、反差较低、影调柔和、宽容度大，对景物中各种颜色都能感光，即全色性的。片基一般都染成淡灰色或淡蓝紫色，以防止光晕。负片按感光度可分为：高速片（ISO200 / 24° ~ 400 / 27° 或更高）、中速片（ISO64 / 19° ~ 160 / 23°）和低速片（ISO50 / 18° 以下）。按几何尺寸可分为 135、120 等不同规格的胶卷和各种尺寸的散页胶片。

#### ② 正片

正片一般用于印制放映拷贝。底片不能直接观赏，还需使用印片机，通过底片在正片上曝光，冲洗之后可得到与原景物明暗一致的正像以作实际观赏，如：电影放映拷贝或幻灯机放映用幻灯画面。正片的性能特点是：反差大、影调明朗、灰雾密度小、颗粒细、感光度低，大多只对蓝紫光感光。

#### ③ 中间片（翻正片和翻底片）

如果制作照片的数量很多，就需要用原底片制作一些和原底片的影调、层次基本相同的翻底片。先制作翻正片（正像），再用翻正片印制出翻底片。翻底片可以和原底片一样印制照片，原底片则可以妥善保存。这类胶片性能的特点是：颗粒细、清晰度高、反差低于正片而高于负片，并有一定的宽容度，以保证再现原底片的层次。片基多为淡蓝色，一般只感蓝紫光，有时需由彩色底片翻制成黑白底片，则翻正片必须为全色性的。中间片的感