

静电技术应用专题系列

第六讲 电摄影的基本过程¹⁾

鲍重光

(北京理工大学应用物理系)

本文以 Carlson 法为主体,介绍了电摄影技术中的带电、潜象形成、显影、转印以及定影的基本过程,概述了其应用及发展的前景。

电摄影技术由于其感度高、图象质量好以及操作方便等特征,首先在复印机上得到广泛的应用。随着信息化时代的到来,大量信息通过各种数字网络进行流通,对各种终端装置、特别是图象输出机器提出了新的要求。作为电信号的一种记录方式,电摄影技术更为人们所注目。

Carlson 于 1938 年提出的方法,成为当代电摄影技术的先导。这种方法的原理,是通过光电导体,将光信号变换为电信号——静电潜象,然后再利用静电力,使带电的显影剂附着于潜象,从而形成再生的可视图象。随后,各种各样非传统的电摄影方法相继问世。然而,Carlson 方法仍然占据着主要的地位。图 1 给出

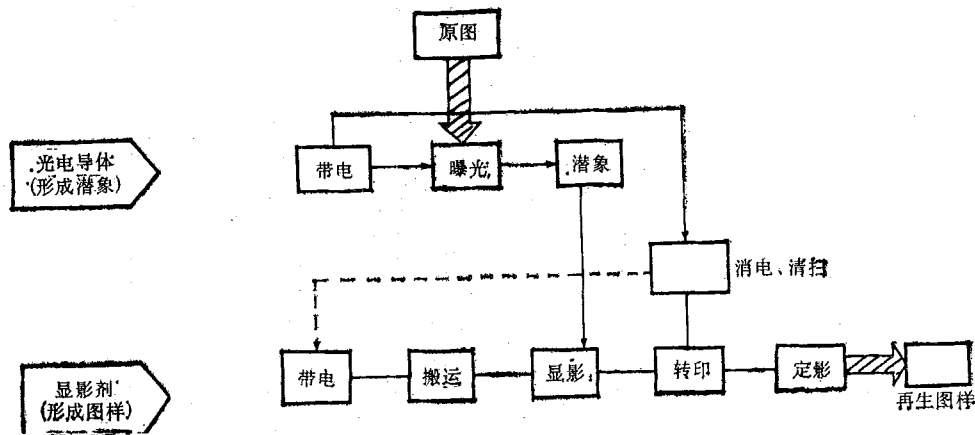


图 1

了 Carlson 法电摄影的基本过程。

首先对 Se 系合金, ZnO 和 PVK 等光电导体,用电晕、接触等方式带电,然后与原图象对应地进行曝光,形成静电潜象。接着,利用接触摩擦、电晕、静电感应等方法使墨粉带电,并将其运送至潜象部位,通过静电引力进行显影。被显影的墨粉通过静电的、热的、力学的以及磁的方法转印到纸张等记录媒介上。最后,再用热、压力、溶剂等使墨粉软化、定影、形成最终的

复印图象。转印后,通过消电或用刷子清扫掉残留的墨粉,光电导体即可反复使用。

一、带电过程

电晕带电是较常采用的方式之一。这里首先要弄清电晕带电时,产生的电晕离子是怎样

1) 本文为静电技术应用专题系列最后一讲。

流动并降落到感光体上去的。我们知道，电晕离子是在感光体与电晕线间电场的驱动下移向感光体的。由于这种移动在空气中进行，它们即使被加速，也将由于与其它气体分子碰撞而丧失速度。因此，这时产生的离子电流与半导体中载流子的运动相类似，可以用下式表示：

$$I = eN\mu(dV/dt), \quad (1)$$

其中 I 为离子电流， e 为电子电荷， N 为离子密度， μ 表示迁移率。由此看出，当感光体表面电位增加时，电晕线与感光体之间的电场减小，流向感光体的电晕电流亦减少。

感光体电晕带电后，其表面积累了电荷，并在支持体上感应出与之极性相反的电荷，在电极间发生电容充电的过程。电晕电流越大，带电越快；反之，电流小时充电缓慢。若忽略感光体的漏电流，则根据带电速度与流过感光体表面的电晕电流成比例这一点，可以找出表面电位随时间呈指数关系变化的表达式。

感光体的电晕带电特性还受漏过感光体的暗电流(漏电流)大小的影响。采用高电阻、暗电流小的感光体，可以带上高电位。感光体的表面电位与漏过感光体的电流之间的关系，可以用电压-电流曲线或漏电流曲线表示。这种漏电流包括三个部分：其一，是感光体表面电荷注入感光体中，因泄漏，与支持体上的电荷中和而形成的电流；其二，是支持体上的电荷通过界面注入离子，泄漏至感光体中，与表面处的电荷中和而形成的电流；其三，是感光体中的热激发载流子与表面或支持体的电荷中和而形成的电流。

禁带较宽的材料自由表面，可以作为阻挡层来防止表面电荷的注入。n型或p型半导体也可用作空穴及电子的阻挡层。附着于表面的电晕离子，将电荷交给阻挡层的表面能级而处于能量稳定的状态。同样，感光体与支持体之间的接触，亦要设置阻挡层。也就是说，在正电晕带电时，必须防止电子的注入，而在负电晕带电时，必须防止空穴的注入(图2)。

感光体的漏电阻将随着电晕带电的进行而变化，这一点可由感光体的伏安特性看出。在

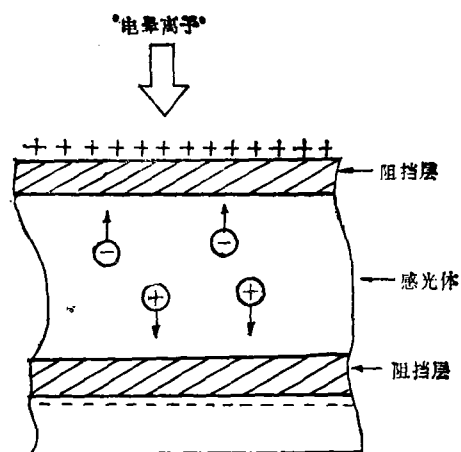


图 2

带电的初始阶段，由于感光层内存在较多的自由载流子，初始电阻较小。随着电压的上升，电流剧增。但随着带电的进行，层内的自由施主由表面逐渐向深处电离，电离层的厚度增大，层内载流子产生的导电率减小，电流曲线迅速弯曲并趋向饱和。然而，当表面电位进一步上升时，将会产生电子雪崩，电流迅速增大。形成漏电流的原因，随感光材料物性的不同而不同。

综上所述，电晕带电后表面电位的暗衰减，对图象的特性有重大的影响。在电摄影过程中，一般期望衰减缓慢。暗衰减不能用单纯的RC模型来表示，而必须针对不同的感光体分别加以考虑。

二、潜象形成过程

潜象形成过程是利用光电导现象，在感光体表面上形成电荷图案的过程。电摄影中使用的感光体，必须具有这样的性能：在未受光照时，呈绝缘性；光照时，具有导电性；使带电电荷逸走。从结构上看，大致可分为单层感光体以及功能分离型感光体两类。功能分离型是由在光照下产生光生载流子的载流子产生层(CGL)和担负输送光生载流子任务的载流子输送层(CTL)构成的。当今，后者已成为实用感光体的主流。以硒-碲感光体为例，其结构如图3所示。

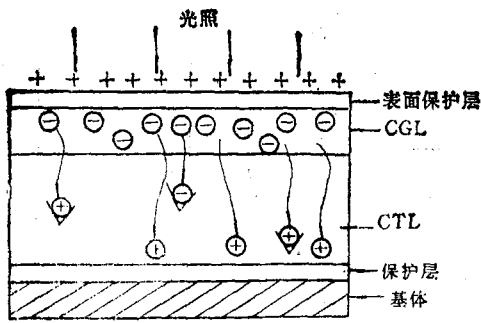


图 3

经电晕荷电,表面保护层带上均匀的电荷;与原图相应地以光照射于其上时,CGL层吸收了光而形成电子、空穴对。产生的空穴由CTL中的电场运往阻挡层,流入导电性基板。其中,有的空穴将被CTL中的陷阱能级所俘获;另一方面,CGL中残留的电子则与感光体表面的正离子复合,形成表面放电。光电导现象可以用能带模型来加以说明。它是一个非平衡电子态向平衡态弛豫的载流子动力学过程。在实际的材料中,这种电子弛豫过程极其复杂,它与载流子的输运过程是决定感光体特性的重要因素。

电摄影用感光体有无形半导体、有机化合物、微晶-树脂分散系等材料。其结构及电子态都显著不同,所以光电导过程的特征也不相同。一般的电摄影材料,其载流子的迁移率小,禁带内的局域能级密度大。当入射光强度增加时,在光电导体中将贮存有相当数量的电荷,这种空间电荷将对电场产生显著的影响,从而会引起光电流的变化。对实际感光体来说,这种空间电荷的影响无法避免,对它的控制将是一

个重要的课题。从原理上讲,可以根据电流连续性方程及泊松方程,求出光电流与空间电荷的关系,然而要求出一般解是很困难的,必须针对具体材料加以考虑。

三、显影过程

在感光体表面形成的潜象上,利用种种方法使之附上带色的带电墨粉而成为可见图象的过程,称为显影。电摄影过程中所利用的载有图象信息的潜象,称为电子潜象,可大致分为静电潜象、导电潜象、光导电性粒子上的电荷潜象三类。使这些潜象形成可视图象的驱动力主要为库仑力:

$$F = qE, \quad (2)$$

其中 q 为带电粒子的电量, E 为作用于带电粒子上的电场。Schmidlin^[1]指出,由墨粉与潜象电场间的相互作用而形成的驱动力,将引起物质的移动,并且提供了墨粉附着于潜象上的附着力。人们还从数学上详细计算了显影电场,并指出:在显影时,由于显影剂与感光体接触,故显影剂的介电特性对显影起支配作用。此外,在原图中,线条及画面的边缘部分有较强的静电场作用,将产生所谓边缘效应。因而,必须如图4那样设置显影电极,以抑制边缘效应。显影电极随静电潜象电场的样式而变化,有增强画面电场的效果。也就是说,利用显影电极,静电潜象的各个部分可以与感光体表面电荷大致成比例地进行显影。

目前主要采用的显影方式如表1所示。其中,双组分显影方式是使墨粉与载体粒子接触、

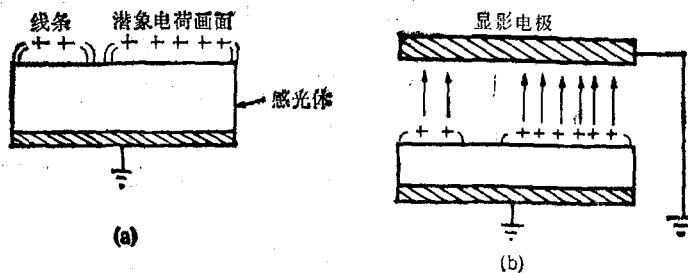


图 4

表 1 主要的显影方式

墨粉带电方法	运送墨粉的手段	显影方式
摩擦带电	静电力、重力	级联显影法
	静电力、磁力	双组分磁刷显影法
	静电力	单组分绝缘墨粉显影法
电荷注入	磁力	单组分导电墨粉显影法
电泳带电	液流	湿式显影法

摩擦而带电,再让墨粉附着于载体上,运送至潜象处进行显影。墨粉粒子的平均粒径约为 $10\mu\text{m}$,载体为 $20-300\mu\text{m}$ 的磁性粒子。而单组分显影则是将墨粉以均匀薄层分散于显影辊上,再使其附着于感光体静电潜象面,进行显影。使墨粉带电的方法有摩擦带电及静电感应等方式,由此可以派生出种种显影方式,此处不再赘述。

四、转 印^[2]

转印是将感光体上的墨粉象转印到记录媒体上的过程。有静电转印、压力转印以及粘着转印等方法。在电摄影装置中,广泛使用的是静电转印法,它是将纸等介质紧贴在显影后的墨粉象上,接着,在记录纸与感光鼓之间形成电场,以使带电墨粉因静电作用而被吸附到记录纸上。随后,再将记录纸与感光体分离开。根据形成静电场手段的不同,静电转印可分为电晕转印、辊筒转印及介质传送带转印。电晕转印法是利用电晕带电器,在记录纸的背面充上与带电墨粉极性相反的电荷的方式。这样,当作用于带电墨粉上的静电力大于墨粉粒子相互之间或者墨粉与感光体表面之间的机械性附着力时,墨粉就将转印到记录纸上。显然,感光体与纸介质间的空隙电场是支配转印过程的主要因素。从理论上讲,当空隙电场大于 28.5MV/m 时,可以百分之百地转印,但实验中,最大的转印效率为 90% 。理论与实验有差别的原因

是:(1)墨粉层的最下部,由于范德瓦耳斯力而附着于感光鼓面上,较之平均的机械性附着力变大;(2)由于记录纸部分地密着不良,在转印中会产生局部放电;(3)在记录纸剥离过程中也会产生局部放电。

五、定 影

由感光体转印到纸上的墨粉,其附着力十分微弱,必须使其永久性地固定下来,这就需要进行定影。

为了使支持体与墨粉之间得到充分的结合力,在定影过程中,可以使墨粉由固相变为液相,或者使其发生塑性形变,扩大其与支持体的接触面积,使二者间形成分子间力和机械的结合力。因此,必须考虑墨粉中的能量传递问题和墨粉的流动和变形的问题。能量的传递,通常采用热、压力或者溶剂的方法。由于墨粉是热塑性高分子聚合物材料,使其流动的驱动力可以有表面张力、外加压力、重力以及静电力等,而其粘性则起到阻止流动的相反作用。

此外,墨粉图象是粉体的集合,经过受热定影时,将会发生变形,使图象结构发生变化。为此,必须仔细考察墨粉的熔融、流动的扩展以及向支持体浸透的各种细节。

以上简述了电摄影的几个基本过程。随着计算机向各个领域的渗透,变为电信号的信息增多,与之相应,电信号与人之间的人机接口问题日趋重要^[3]。这种人机接口,具体说来,包括以 CRT 为代表的 VDT 软拷贝和以打印机为代表的硬拷贝两类。作为时间系列信号的软拷贝,其信息是在瞬时间表示出来的,在此情况下,人们为了比较各种图象,就不得不依靠自己的记忆,这是很不方便的;同时,为了理解显示器上读出的图象、文字,将受到文字数量、大小及表示时间的限制。当越过一定界限之后,便不得求助于硬拷贝。由于硬拷贝形成的是永久图象,可以与软拷贝技术取长补短。在技术上发挥其重要的作用。以商用复印机为先导的

(下转第 232 页)