

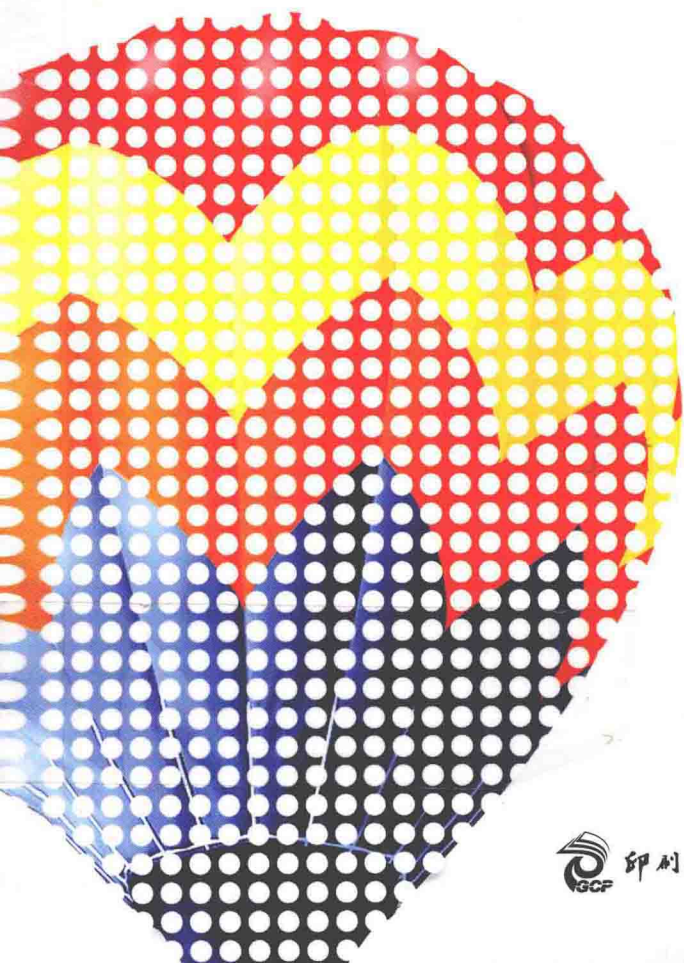
21世纪数字印刷专业教材

静电照相数字印刷

JINGDIAN
ZHAOXIANG
SHUZI YINSHUA



姚海根 孔玲君 金张英◎编著



印刷工业出版社

21世纪数字印刷专业教材

静电照相数字印刷

姚海根 孔玲君 金张英 编 著

印刷工业出版社

内容提要

本书讨论两大数字印刷主流技术之一的静电照相数字印刷,主要围绕其工作原理展开,也兼顾静电照相数字印刷的系统结构。第一章简要介绍静电照相技术的发明、静电照相步骤和设备类型等。第二章讨论静电照相所必需的光导效应和光导体,以有机光导体和非晶硅光导体为主。第三章的内容围绕充电过程展开,主要介绍光导体的电晕充电。第四章讨论曝光过程,从曝光的工艺地位、激光束和发光二极管曝光到曝光质量。第五章的内容与显影过程直接相关,涉及墨粉制备、单组分和双组分墨粉充电及电荷控制中介等。第六章针对显影过程,以双组分墨粉磁刷显影和复合无清理显影技术为主,兼顾单组分显影等。第七章进入转移过程讨论,除传统转移技术外,对新一代图像压图像转移法也给予了特别的关注。第八章的内容分成熔化和定影两部分,以介绍热接触熔化(滚筒熔化)为主。由于液体显影的特殊性,以及液体显影彩色静电照相机的特殊地位,因而专设第九章讨论。第十章从系统角度对静电照相数字印刷进行了总结。静电照相内涵十分丰富,涉及艰深的物理知识,某些基本的现象迄今仍未找到合理的解释。因此,本书尽可能深入浅出地介绍这种技术,重点放在与应用有关的内容。

本书可作为各院校数字印刷专业的基本教学素材,也可作为图文信息处理、印刷工程、包装工程、数字出版和办公自动化等专业的教学参考书。本书还可供数字印刷、商业印刷和数字出版等相关领域的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

静电照相数字印刷/姚海根,孔玲君,金张英编著. —北京:印刷工业出版社,2012.7

(21世纪数字印刷专业教材)

ISBN 978-7-5142-0508-4

I.数… II.①姚…②孔…③金… III.数字印刷—教材 IV.TS805.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第126738号

静电照相数字印刷

编 著:姚海根 孔玲君 金张英

责任编辑:张宇华

责任校对:岳智勇

责任印制:张利君

责任设计:张 羽

出版发行:印刷工业出版社(北京市翠微路2号 邮编:100036)

网 址:www.keyin.cn pprint.keyin.cn

网 店://pprint.taobao.com www.yinmart.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:河北省高碑店市鑫宏源印刷包装有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:425千字

印 张:17.875

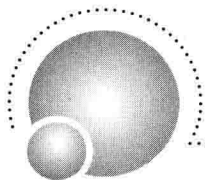
印 数:1~1000

印 次:2012年7月第1版 2012年7月第1次印刷

定 价:39.00元

I S B N : 978-7-5142-0508-4

◆ 如发现印装质量问题请与我社发行部联系 发行部电话:010-88275602 直销电话:010-88275811



前言

静电照相技术建立在光导效应和静电效应两种基本物理现象的基础上,卡尔逊的功劳在于将这两种看似毫无关系的现象联系在一起,发明了静电照相技术。经过 70 多年的发展,静电照相成长为两大主流数字印刷技术之一。静电照相领域不断出现的新技术,不仅克服了来自数字印刷和相关领域的许多应用方面的难题,提高了印刷质量,也极大地丰富了表面物理的理论内涵,静电照相已成为现代物理研究的重要方向之一。

本书之所以使用静电照相数字印刷这一名称,是为了与国际上的专业名称一致,也反映利用静电照相原理的数字印刷机、打印机和复印机等设备的技术本质。由于大多数人已经习惯于类似激光打印机等一类的称呼,尽管激光仅仅作为静电照相设备的成像光源,也不是唯一的成像光源,但为了照顾多数人的习惯,本书也经常使用激光打印机这种称呼。事实上,只有“静电”和“照相”两个词才能准确地刻画其本质。一方面,静电照相的成像和复制过程中充满静电现象,例如光导体和墨粉充电、墨粉与光导体或纸张的黏结等;另一方面,对光导体的曝光就是照相,而光导效应正是静电照相需要的基本物理现象。

作者对命名为静电成像数字印刷的意见不能同意,因为仅有静电不能成像,只有“静电”和“照相”结合到一起,才能在光导体上建立静电潜像。至于为何不采用静电照相成像的名字而称之为静电照相数字印刷,根本原因在于这种印刷技术可以分解为成像和复制两大主要环节,充电、曝光和显影属于成像,而转移和熔化则属于复制了,其中转移对成像和复制起连接和纽带作用。此外,随着静电照相技术的全面数字化,静电复印已经成为历史名词,因为这种称呼代表模拟时代。由于现代静电照相设备分成数字印刷机、打印机和数字多功能一体机三大类型,这些设备都以数字控制为基本特征,因而将上述三种设备所依据的静电照相原理和数字控制综合到一起,命名为静电照相数字印刷是合理的。

本书的绝大部分内容围绕静电照相过程而展开,包括充电、曝光、显影、转移和熔化,虽然清理也是静电照相过程之一,但由于作用原理与充电和放电过程等并无原则区别,因而对清理过程单独讨论没有多大意义,更何况能够找到的资料也极其有限。

对光导体和墨粉之所以单独讨论,一方面是因为光导效应为静电照相所必须,对静电照相过程的建立和最终的印刷质量都是关键因素,光导体质量某种程度上决定了静电照相设备的分辨率;另一方面,充电和曝光建立的静

电潜像只能利用带电墨粉显影，结果的优劣与墨粉自身和充电效果存在密切的关系，为此需要单列一章讨论。

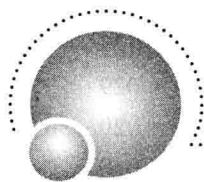
鉴于液体显影彩色静电照相数字印刷机在数字印刷领域的特殊地位，被业界公认为高质量静电照相数字印刷的代名词，独立成一章很有必要。

本书的出版得到教育部图文信息处理国家级教学团队建设经费的支持，编写本书的主要理由是图文处理结果的输出出现了多元化的趋势，而静电照相数字印刷正是图文处理结果的主要输出技术之一。在本书的编写过程中，作者所在上海出版印刷高等专科学校的领导和教师们十分关心和支持，与兄弟院校教师的讨论也使作者受益匪浅，在此深表谢忱。

由于作者理论知识和实践经验的局限性，本书不足和疏漏之处在所难免，希望广大使用本书的读者和教师予以指正，作者在此预先对他们表示诚挚的谢意。

姚海根

2012年5月



目 录

第 1 章 概述	001
1.1 静电照相技术及其发明	001
1.1.1 复印技术	001
1.1.2 静电效应	002
1.1.3 静电照相技术的发明	003
1.1.4 艰难的技术发明推广之路	004
1.1.5 为静电照相技术正名	005
1.1.6 静电照相的发展和进步	006
1.2 静电照相步骤简述	007
1.2.1 充电	007
1.2.2 曝光	008
1.2.3 显影	009
1.2.4 转移	010
1.2.5 熔化与定影	010
1.2.6 清理	011
1.3 静电照相设备类型	012
1.3.1 模拟复印机	012
1.3.2 激光打印机	013
1.3.3 发光二极管打印机	014
1.3.4 静电照相数字印刷机	015
1.3.5 数字多功能一体机	016
1.4 静电照相的现代进展	018
1.4.1 从模拟到数字	018
1.4.2 关键技术进展	019
1.4.3 技术创新	020
1.4.4 市场趋势	021
1.4.5 静电照相的未来	022
第 2 章 光导体	024
2.1 光导效应与光导性	024
2.1.1 光导性的发现和早期开发	024
2.1.2 光电效应	025

2.1.3	光导性	026
2.1.4	半导体的能带结构	027
2.1.5	能带结构与导电性的关系	028
2.2	光导体	028
2.2.1	第一代光导体	029
2.2.2	光导材料的发展	029
2.2.3	光敏电阻	030
2.2.4	硒光导体及其结构	030
2.2.5	硫化镉光导体	031
2.3	有机光导体	033
2.3.1	有机光导体发展概况	033
2.3.2	有机光导体的一般结构	034
2.3.3	带加强层的有机光导体	035
2.3.4	负电型有机光导体	036
2.3.5	正电型有机光导体	037
2.3.6	有机光导鼓制造工艺与图像质量	038
2.3.7	有机光导鼓的使用寿命	039
2.4	非晶硅光导体	040
2.4.1	非晶硅光导体的主要优点	040
2.4.2	分辨率与光敏层厚度的关系	041
2.5	光导体的主要技术特性	042
2.5.1	静电照相对光导体性能的通用要求	042
2.5.2	光导体的电荷衰减效应	043
2.5.3	成像分辨率	044
2.5.4	成像性能	045
2.5.5	高清晰度要求的光导体特性	046
第3章	充电	047
3.1	电晕现象与充电	047
3.1.1	闪电与电晕现象	047
3.1.2	电晕现象的工程意义	048
3.1.3	电晕充电原理	049
3.1.4	流体环境与电晕的正负	050
3.2	电晕装置充电法	051
3.2.1	电晕充电装置的基本结构	051
3.2.2	电晕管	052
3.2.3	电晕管与丝网罩复合结构	053
3.2.4	直流与交流电晕充电	054
3.2.5	充电滚筒性能对充电效果的影响	055
3.2.6	无臭氧充电技术	056

3.2.7 充电不良的主要原因	057
3.3 充电效果评价	058
3.3.1 充电曲线	058
3.3.2 充电效果的衡量指标	059
3.3.3 有机光导体的电晕充电特征	060
3.3.4 光导体的电荷捕获	061
第4章 曝光	063
4.1 曝光的工艺地位	063
4.1.1 定义	063
4.1.2 光导材料的感光灵敏度	064
4.1.3 曝光过程	065
4.1.4 曝光的基本物理特征	066
4.1.5 曝光曲线	067
4.1.6 曝光对光源的基本要求	068
4.1.7 写黑和写白	069
4.2 激光束曝光	070
4.2.1 激光器的发展	070
4.2.2 输出激光的要素	071
4.2.3 激光栅格输出扫描装置	072
4.2.4 激光扫描系统的速度配置	074
4.2.5 多束激光并行曝光技术	074
4.2.6 激光信号调制与光束自动校正	075
4.2.7 彩色静电照相激光束曝光	076
4.3 发光二极管曝光	077
4.3.1 发光原理	077
4.3.2 发光二极管曝光	078
4.3.3 关于曝光精度问题	079
4.3.4 分辨率与发光二极管的排列密度	080
4.3.5 热稳定性	080
4.3.6 驱动电流与使用寿命	081
4.3.7 激光与发光二极管曝光比较	082
4.4 曝光质量与评价	083
4.4.1 静电潜像评价的基本参数	084
4.4.2 潜像组成本质	084
4.4.3 高斯线条静电潜像	085
4.4.4 静电潜像曝光相关性的测量结果	086
4.4.5 分辨率与光导层厚度的关系	087
4.4.6 静电潜像与电荷迁移率的相关性	088
4.4.7 潜像电位的频率特征	089

第5章 墨粉与墨粉充电	091
5.1 墨粉	091
5.1.1 墨粉的早期应用	091
5.1.2 墨粉的基本特性	092
5.1.3 墨粉类型	093
5.1.4 单组分墨粉	095
5.1.5 双组分墨粉	095
5.1.6 液体墨粉	096
5.2 墨粉制备	097
5.2.1 传统墨粉制备工艺	097
5.2.2 墨粉机械制备法的主要缺点	098
5.2.3 化学方法制备墨粉	099
5.2.4 有限凝聚墨粉制备技术	101
5.3 单组分墨粉充电	101
5.3.1 感应充电	102
5.3.2 注射充电	103
5.3.3 磁性墨粉接触充电	103
5.3.4 非磁性墨粉接触充电	104
5.3.5 电晕充电与其他充电方法	105
5.4 双组分墨粉充电	106
5.4.1 双组分墨粉充电的基本问题	106
5.4.2 墨粉充电结构的衡量指标	107
5.4.3 与摩擦充电有关的实验结果	108
5.4.4 摩擦充电理论模型	109
5.4.5 墨粉充电的电场理论	110
5.4.6 充电方法和墨粉形状对充电效果的影响	111
5.5 电荷控制剂	113
5.5.1 基本概念	113
5.5.2 电荷控制机制的建议模型	114
5.5.3 晶体形式与充电效果的关系	115
5.5.4 电荷控制剂数量与摩擦充电性能的关系	116
第6章 显影	118
6.1 从潜像到墨粉像	118
6.1.1 显影技术面临的主要挑战	118
6.1.2 改善显影质量的努力	119
6.1.3 线条显影质量	120
6.1.4 墨粉层	121

6.1.5	墨粉转移方式	122
6.1.6	显影状态观察与研究方法举例	123
6.1.7	单组分墨粉显影模型	124
6.1.8	两种写入系统的优缺点分析	126
6.2	喷流式显影	128
6.2.1	喷流显影原理	128
6.2.2	三种喷流显影方法	128
6.2.3	喷流式显影的主要问题	129
6.3	磁刷显影	130
6.3.1	双组分磁刷显影的一般形式	130
6.3.2	充电区域显影与放电区域显影比较	132
6.3.3	绝缘磁刷显影	133
6.3.4	导电磁刷显影	134
6.3.5	磁滚筒结构类型	135
6.3.6	单旋转套筒系统	136
6.3.7	双旋转套筒系统	137
6.3.8	供体滚筒显影系统	137
6.4	现代双组分显影技术	138
6.4.1	复合无清理显影	138
6.4.2	显影间隙	139
6.4.3	典型显影曲线	140
6.4.4	电场特征	141
6.4.5	墨粉供应与需求	142
6.5	单组分显影	143
6.5.1	单组分显影的特点	143
6.5.2	气雾显影	143
6.5.3	磁性单组分墨粉显影原理	145
6.5.4	导电磁性墨粉显影	146
6.5.5	绝缘磁性墨粉显影	147
6.5.6	绝缘非磁性墨粉显影	148
6.6	墨粉黏结力	148
6.6.1	墨粉黏结研究的基本问题	149
6.6.2	球形墨粉颗粒与光导体黏结	150
6.6.3	墨粉黏结力测量	151
6.6.4	非均匀电荷分布黏结力理论	152
6.6.5	球对称分布黏结理论	153
第7章	转移	155
7.1	转移过程的性质与任务	155
7.1.1	墨粉转移的工艺地位	155

7.1.2	静电转移	156
7.1.3	墨粉图像的直接转移	157
7.1.4	间接转移	158
7.1.5	墨粉到中间接受介质的转移	159
7.2	转移机制	160
7.2.1	转移过程分析	160
7.2.2	墨粉转移模型	161
7.2.3	墨粉与纸张的黏结力	162
7.2.4	多次通过转移的一维简化模型	163
7.2.5	彩色静电照相多层墨粉结构	164
7.2.6	墨粉转移的基本动力	165
7.2.7	转移效率与理想转移曲线	166
7.2.8	墨粉转移效率的测量结果	167
7.3	转移效果的影响因素	168
7.3.1	多次通过转移电流与纸张的关系	168
7.3.2	承印材料对墨粉黏结的影响	169
7.3.3	记录介质非均匀性与转移电场关系	170
7.3.4	图像内容与多次转移电流	171
7.3.5	转移间隙卫星墨粉	172
7.3.6	环境条件的影响	173
7.3.7	光导体清理对提高转移效率的意义	174
7.3.8	纸张的静电荷衰减特征	175
7.4	图像压图像转移技术	176
7.4.1	新时代的质量与速度要求	176
7.4.2	直通连接结构	177
7.4.3	图像压图像转移技术	178
7.4.4	系统交互作用管理	179
7.4.5	偏色解决方案	179
7.5	墨粉转移的辅助手段	180
7.5.1	垫板转移法	180
7.5.2	转移电场	181
7.5.3	垫板转移与滚筒转移比较	182

第8章 熔化与定影

8.1	基本问题	184
8.1.1	墨粉熔化过程	184
8.1.2	墨粉的玻璃渐变阈值温度	185
8.1.3	加热和冷却循环	186
8.1.4	典型墨粉的黏性曲线	187
8.1.5	接触与非接触熔化及定影	188

8.1.6	墨粉颗粒直径分布与墨粉层	189
8.1.7	墨粉层的理想排列	190
8.1.8	考虑纸张界面时的墨粉颗粒排列特点	191
8.2	热接触熔化	191
8.2.1	熔化能量来源	191
8.2.2	墨粉熔化区域结构	192
8.2.3	滚筒熔化系统结构	193
8.2.4	热滚筒熔化间隙与硬质压力滚筒熔化系统	194
8.2.5	压力滚筒熔化间隙和硬质热滚筒熔化滚筒系统	195
8.2.6	压力滚筒熔化间隙与软质热滚筒熔化滚筒系统	195
8.2.7	三种滚筒熔化系统比较	196
8.2.8	滚筒系统熔化能量	197
8.2.9	滚筒表面的形状匹配问题	198
8.2.10	空气对熔化温度的影响	199
8.3	非接触熔化	200
8.3.1	基本原理	200
8.3.2	闪光熔化	201
8.3.3	典型闪光设备的光谱分布	202
8.3.4	闪光熔化的脉冲功率	203
8.3.5	红外辐射熔化	204
8.3.6	红外辐射装置	205
8.4	定影	206
8.4.1	定影与熔化的关系	206
8.4.2	热滚筒熔化的印刷表面	207
8.4.3	红外辐射熔化和定影效果	209
8.4.4	复合定影技术	209
8.4.5	影响定影强度的主要因素	210
8.4.6	定影效果	211
8.4.7	感应定影	212
8.4.8	按需定影技术	213
8.5	纸张剥离	214
8.5.1	剥离过程	214
8.5.2	熔化温度窗	214
8.5.3	隔离剂	215
8.5.4	滚筒涂布层隔离剂	216

第9章 液体显影静电照相技术 218

9.1	液体墨粉显影	218
9.1.1	沉浸式液体显影技术	218
9.1.2	早期基于电泳现象的液体显影技术	219

9.1.3	液体显影的物理基础	219
9.1.4	墨粉充电	220
9.1.5	一阶效应	221
9.1.6	液体显影的界面不稳定性	222
9.1.7	二值油墨显影装置	223
9.1.8	顺序排列一次通过液体显影彩色静电照相印刷系统	224
9.1.9	多次通过液体显影彩色静电照相印刷系统	224
9.2	液体处理技术	226
9.2.1	挤压设备	226
9.2.2	液体限流过程分析	227
9.2.3	数值计算的实验验证	228
9.2.4	流体与限流机制的主要特征	229
9.2.5	挤压电压与液体去除效果	230
9.2.6	液体回收	231
9.3	液体显影的彩色复制特性讨论	232
9.3.1	白色墨粉应用	232
9.3.2	色彩表现稳定性	234
9.3.3	色域与电子油墨的关系	235
9.3.4	液体显影静电照相数字印刷与胶印质量	236
9.3.5	扩展色域的措施	237
9.3.6	浅色电子油墨运用	237
第 10 章	静电照相系统结构	240
10.1	单元设计概念	240
10.1.1	静电照相印刷单元	240
10.1.2	单元结构的功能考虑	241
10.1.3	输纸与收纸机构	242
10.1.4	双面印刷	243
10.1.5	多次通过系统	245
10.1.6	一次通过系统	245
10.2	成像子系统	247
10.2.1	成像套件	247
10.2.2	高速彩色静电照相设备典型显影子系统结构	248
10.2.3	单组分与双组分墨粉典型显影装置比较	249
10.2.4	重新充电、曝光和显影技术	250
10.2.5	无清理复合非交互显影结构	252
10.2.6	显影装置的结构布局	253
10.3	转移子系统	254
10.3.1	生产型彩色静电照相数字印刷机转移结构变迁	254
10.3.2	顺序转移和集中转移结构	255

10.3.3	三种转移结构比较	256
10.3.4	旋转式集中转移结构	257
10.3.5	滚筒转移法	258
10.3.6	带式转移法	259
10.3.7	考虑维修方便的转移带结构	261
10.4	熔化子系统	261
10.4.1	双滚筒熔化装置结构	262
10.4.2	多层墨粉熔化的结构要求	262
10.4.3	墨粉堆层剪切处理措施	263
10.4.4	滚筒熔化结构比较	264
10.4.5	硅油存储与应用系统	266
参考文献		268

1.1 静电照相技术及其发明

有人称静电照相 (Electrophotography 或 Static-electrophotography) 为静电成像, 这确实是一种成像方法, 但由于成像过程中有曝光的参与, 类似于胶片摄影的曝光, 因而称之为静电照相更能反映其本质。早期的模拟静电复印机和现代数字复印机、打印机乃至静电照相数字印刷机等, 虽然设备结构千差万别, 但它们的基本工作原理都是相同的, 都离不开静电照相的六大基本工艺过程, 仅是过程细节和实现方法不同而已。

1.1.1 复印技术

至少有几个理由需要复印。第一, 工厂、机关、学校和商业部门等都要求按原稿生产内容完全相同的复制品, 由于手工抄写容易出错, 需要由机器来取代; 第二, 只有大批量复制才适合于使用胶印等传统印刷方法, 对数量较少的复制需求靠复印解决更合理; 第三, 某些复印技术具有局部修改能力, 可借助于裁剪和拼贴得到需要的复印件。

第一台真正意义上的复印机出现在 1780 年, 由詹姆斯·瓦特设计并制造。当然, 人们熟悉这个名字因为他还是现代蒸汽机的发明者。这种复印机使用时需要把刚刚用特殊墨水写就的文件放到潮湿的复写纸上, 然后挤压, 让墨水渗透进复写纸 (半透明), 整个复印过程完毕后, 可以把复写纸翻过来, 从另一面看拓下来的文字。

历史上曾经出现过不少其他复印技术, 曾经使用过的主要复印方法包括卤化银复印、转移复印、平面 (图) 复印 (晒图) 和热敏复印等, 但使用的方便性和复印质量上均不能与静电复印相比。由于静电复印术应用的普遍性和广泛的知晓度, 几乎成为复印或影印技术的代名词。在作为计算机外围设备使用的打印机和平板扫描仪尚未普及时, 人们对静电复印件和缩微胶片具有高度的依赖性。两者相比, 公众对静电复印更熟悉, 因为日常生活中不需要信息高度压缩、阅读时必须借助于专门设备的缩微胶片复印术。尽管如此, 缩微胶片的历史“功绩”不可否认, 在基于磁记录技术的大容量存储器普及前, 缩微胶片曾经为狭窄空间保存大容量信息提供了有效的解决方案。

晒图 (晒蓝图) 曾经在机械和建筑等工业部门广泛使用, 为大幅面文件复制提供了很好的解决方案, 其主要缺点表现在操作复杂、很难实现复制过程的自动化、复印质量远不如缩微胶片和静电复印。由于静电复印在相当长的时期内无法突破 A3 规格, 因而只能勉为其难地使用着, 一直到大幅面工程图静电复印设备出现才彻底放弃。转移复印和热敏复印的公众知晓度甚至不如晒图和缩微胶片, 仅在狭窄范围内使用。

发展到今天, 静电复印仍然是原稿复印的主流技术, 但与模拟静电复印时代的设备和技术相比已经不可同日而语了, 最明显的进步是设备控制技术, 早在 20 世纪末时就从模

拟控制转移到了数字控制,出现了复印和打印结合的多功能机。因此,从今天的角度讨论静电照相技术比以往任何时候更有现实意义,无论复印和打印都可以统一到静电照相数字印刷的旗下。然而,讨论静电照相数字印刷又不能离开复印和复印机,不仅因为静电复印比静电照相数字印刷历史更悠久,更因为这两种复制技术使用了相同的工作原理。

基于静电照相原理的复印又称影印(Photocopying),通过类似于模拟照片拍摄的工艺手段、以直接复制的方式在纸张表面“写”入与原文档(原稿)相同的内容,俗称复印件。传统意义上的复印需要原稿,这种复制工艺通常适合于生产数量较少的印刷品,如不考虑设备内部发生的变化,则工艺步骤比传统印刷少得多。

现代静电复印机由施乐公司首先开发成功。如果说静电复印机能够实现的功能与印刷工艺类似,则静电复印机也可以称为“印刷机”了。与传统印刷的工艺步骤相比,静电复印需要的步骤一点也不少,但两者最大的区别表现在静电复印涉及的复杂工艺过程发生在设备的内部,由设备自动地完成,无须人工干预。

1.1.2 静电效应

静电照相基于两种自然现象,即异种电荷彼此吸引以及某些材料曝露在光照条件下时会转变成良导体。其中,第二种现象被归纳为光导性或光导效应,后面专设一节予以讨论;第一种现象利用了类似于由富兰克林发现的静电效应,覆盖多个静电照相过程。然而,令人惊讶的是,虽然静电效应已经众所周知,但对于静电照相过程中发生的某些现象,即使固体物理领域目前了解的程度也很可怜,例如墨粉颗粒与光导体或者与纸张的黏结力究竟来自哪里?

静电充电这一有趣的现象由古希腊人发现,可以追溯到公元前600年,学过中学物理的人都知道,经过摩擦的绝缘琥珀会吸引微小的颗粒。伟大的发明家富兰克林积极地研究以玻璃摩擦羊毛或丝绸引起的电荷交换现象,据此产生了电可以流动的思想。他认为,电既不能创造,也不会消灭,只能在材料之间交换,这就是富兰克林归纳出的电荷守恒定律。根据大量的实验观察,富兰克林创立如下约定:摩擦实验中的玻璃变成带有正电荷,而电子则定义为负电荷。毫无疑问,富兰克林深知他的研究与闪电有关。

人们仍然保持着对静电效应的兴趣,原因在于它们在静电照相及相关技术中得到的实际应用。在富兰克林潜心研究的静电效应中,至少有三种在今天的静电照相打印机、数字印刷机和多功能一体机中得到采用。对静电照相技术实现至关重要的静电效应首推电晕现象,类似于大自然中经常发生的闪电,富兰克林著名的研究是利用风筝揭示这种自然现象的本质,并设计了世界上第一根避雷针。闪电时,由于云层与地面间的高电位差,导致在大气中产生电火花,其结果是高电场使电子加速到很高的速度,从而有更多的自由电子与空气分子碰撞,激发电子的雪崩过程,使空气电离并产生很大的电流。

静电照相复制工艺至少有两个步骤用到由电晕装置发生的离子。静电照相复制工艺必须在称之为光导体的表面建立静电图像并转换到墨粉像:第一,利用电晕装置对光导鼓或光导带表面充电,旨在使光导鼓或光导带表面带有均匀分布的电荷;第二,借助于对光导体曝光建立静电图像,例如复印机使用全色光,而静电照相打印机或数字印刷机则使用激光器或发光二极管发出的光束;第三,通过显影过程从潜像转换到墨粉像,光导体表面吸附带电墨粉,一种微观尺度的聚合物颗粒,黑色墨粉犹如黑色灰尘,正是静电力导致墨粉颗粒黏结到光导体的带电区域。

与富兰克林研究成果类似、对静电照相设备同样重要的第二种静电效应是绝缘体的静

电接触充电。有关导体接触充电已为大家熟知,但现有理论模型不能令人满意地解释诸如玻璃和羊毛一类的绝缘体彼此摩擦时如何会变成带电的。两块导体彼此摩擦时,由于两者的导电特性而很容易相互交换电荷,其物理本质可理解为从原子最外层相当松散的束缚电子转换到平衡的能量水平。对绝缘体来说,预测两种材料中的何者变成带负电和正电几乎是不可能的,即使给定材料的物理和化学属性仍然不可能,最多只能建立经验关系。理解绝缘体充电面临的挑战与诸多困难有关,包括建立真正的接触区域、掌握绝缘表面真实的本质以及表面原子的数量,在10000个原子内只有大约1个原子转变到充电状态。

绝缘体中的电子不能自由运动,静电荷是个别原子或分子变成离子状态的结果,一旦这些原子或分子离子化(电离),则电荷逗留在它们原来所在的地方。当两个绝缘体彼此摩擦时,人们假定电子(也许整个分子或分子的一部分)将从一种材料跃迁到另一种材料,使它们自身处于能量上最容易接受它们的表面分子。

第三种类似于富兰克林发现的静电效应(墨粉颗粒黏结)曾经为古希腊人着迷,甚至也为作为发明家的富兰克林着迷,今天的孩子们对此仍然兴趣浓厚。带电颗粒黏结到物体表面是静电照相设备输出印刷品的关键步骤,对静电照相数字印刷机、打印机和多功能一体机等设备至关重要,例如经过摩擦的墨粉颗粒黏结到纸张。黏结效应往往被认为是由于颗粒电荷的简单静电黏结作用,即黏结到起黏结作用的表面的感应电荷。

1.1.3 静电照相技术的发明

以前面提到的静电效应和光导效应为基础,美国人切斯特·卡尔逊(Chester Carlson)发明了静电照相技术。由于卡尔逊所处时代技术条件和客观因素的限制,他发明的技术或许更应称为静电复印术,但包含今天仍然在进步中的静电照相系统的所有要素,因而认为卡尔逊发明了静电照相技术并无不妥。

1930年,卡尔逊获得加州理工学院物理学学士学位,开始为纽约的贝尔电话实验室工作,成为该实验室的一名工程师。不久以后,他觉得工作索然无味,于是转到贝尔实验室的专利部。在美国经济大萧条期间的1933年后期,他在靠近纽约市华尔街的一家专利事务所找到了一份工作,成为该专利事务所的一名办事员。大约在一年后,卡尔逊在Mallory公司的电子商行里得到了新的工作,被任命为专利部的负责人。由于专利申报和批准涉及大量文件,因而卡尔逊所在的专利办公室频繁地要求他准备大量重要文档的复制件,但那时的卡尔逊已经患有关节炎,准备复制件的工作不仅使他觉得很辛苦,大量的重复劳动也令他索然无味,促使他开展与光导性有关的实验。

1938年10月22日,试验工作取得历史性的突破,受雇于卡尔逊的Otto Kornei在锌板上涂布一层硫磺,拉上窗帘使房间变成暗房后,这位年轻的德国移民用手帕在涂布硫磺的锌板表面摩擦,对该表面充电;然后在锌板上放置底片,用明亮的白炽灯照射;取走底片后再喷撒石松属植物的粉末到硫磺表面,轻轻吹去多余的粉末,并将图像转移到蜡纸;然后加热纸张,使蜡熔化,这样就得到了他们的第一份静电复印件,见图1-1左上角。

世界上第一份静电复印件清晰地记录了发明时间和地点:时间,1938年10月22日;地点,纽约市皇后区的Astoria,卡尔逊的居住地和实验室所在地。根据以上对卡尔逊



图1-1 卡尔逊与他的发明成果(左上角)