

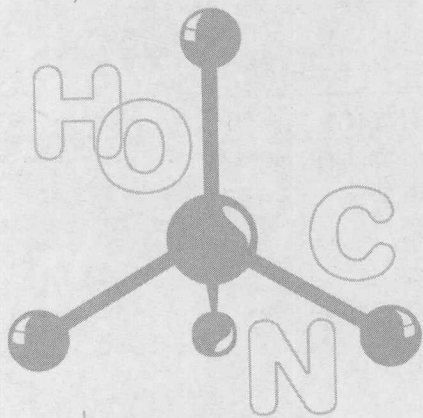



YINRAN XINJI SHU CONGSHU  
印染新技术丛书

SHUZI PENMOMO YINHUA JISHU

# 数字喷墨印花技术

房宽峻 编著



 中国纺织出版社

**数**字喷墨印花技术是一项快速发展的纺织印染新技术,它的出现完全革新了人们关于纺织品生产、销售和消费的观念,将成为 21 世纪纺织工业技术革命的代表,推动纺织工业向生态化、数字化、功能化和个性化迈进,实现纺织工业的可持续发展。

本书比较详细地介绍了数字喷墨印花技术的基本概念、原理、设备、墨水和应用等相关知识,适合广大纺织印染科技工作者阅读。作者及其所带领的团队在数字喷墨印花领域的研究得到了国家“863 计划”(项目合同号:2002AA327120)和国家自然科学基金(批准号:50173012、20474025)等国家和省部级科技计划的资助,本书很多内容取材于最新的研究成果。

在本书的写作过程中,本人所指导的博士和硕士研究生及同事们给

予了许多帮助,王潮霞、蒋学协助编写了第一章、第二章,张琦、许丹协助编写了第三章,田安利协助编写了第五章和第十章,张霞、付少海、许益、郝龙云、袁霞、张连兵协助编写了第四章和第六章至第九章,刘加飞、吴敏、高宇、张署光、孟庆豪、孙小梅、周家达等也在本书编写过程中给予了很多帮助,在此表示衷心感谢!本书第六章和第八章承蒙朱泉教授和陈英教授提供了部分资料,在此表示衷心感谢!

由于本人水平有限,书中定有不足之处,请广大读者批评指正。

房宽峻

2007 年秋

# 第一章 数字喷墨印花技术的起源与发展

第一节 数字喷墨印花技术的起源	001
-----------------	-----

第二节 数字喷墨印花技术的发展	002
-----------------	-----

# 第二章 数字喷墨印花原理

第一节 数字喷墨印花的概念	004
---------------	-----

一、墨滴体积和分辨率 / 004

二、像素与印花清晰度 / 005

第二节 墨滴的形成及其与织物的相互作用	009
---------------------	-----

一、墨滴的形成 / 009

二、墨滴与织物的相互作用 / 011

第三节 按需喷墨原理	014
------------	-----

一、压电式按需喷墨 / 014

二、气泡式按需喷墨 / 018

三、其他按需喷墨方式 / 019

第四节 连续喷墨原理	019
------------	-----

一、偏转阀式连续喷墨 / 019

二、二位连续喷墨 / 020

三、多位连续喷墨 / 021

---

第五节 数字喷墨印花的特点	023
---------------	-----

---

第六节 数字喷墨印花技术的发展趋势	024
-------------------	-----

---

### 第三章 喷墨印花设备

---

第一节 数字喷墨印花机的结构与分类	026
-------------------	-----

---

第二节 喷墨印花机基本机体结构	028
-----------------	-----

---

一、织物放卷装置 / 029

二、织物输送装置 / 029

三、喷墨打印装置 / 030

四、干燥烘焙装置 / 031

五、成品收卷装置 / 031

六、导带水洗装置 / 032

---

第三节 最新品牌喷墨印花机及其技术特点	032
---------------------	-----

---

一、Reggiani公司的DReAM数字喷墨印花机 / 032

二、DuPont公司的Artistri数字喷墨印花机 / 036

三、Stork公司的Sapphire数字喷墨印花机 / 037

四、Mimaki公司的数字喷墨印花机 / 039

五、Mutoh公司的数字喷墨印花机 / 040

六、热气泡技术喷墨印花机 / 041

---

第四节 数字喷墨印花机的发展趋势	042
------------------	-----

---

### 第四章 喷墨印花工艺

---

第一节 喷墨印花墨水的分类与特点	044
------------------	-----

---

一、喷墨印花墨水的分类 / 044

二、染料墨水的特点 / 045

三、颜料墨水的特点 / 046

---

第二节	喷墨印花对织物的要求	048
第三节	喷墨印花织物预处理	049
	一、喷墨印花织物的上浆预处理 / 050	
	二、喷墨印花织物的阳离子化改性预处理 / 053	
第四节	喷墨印花的环境条件	060
第五节	喷墨印花工艺条件的选择	060
	一、喷墨印花设备的选择 / 061	
	二、喷墨印花工艺条件的选择 / 065	

## 第五章 喷墨印花图案的设计与制作

第一节	喷墨印花图案原稿	069
	一、印花图案原稿必须具备的条件 / 069	
	二、印花图案原稿的类型 / 070	
第二节	喷墨印花图案原稿的数字化处理	071
	一、印花图案原稿的扫描 / 072	
	二、数字印花图案的拍摄 / 079	
	三、数字印花图案的计算机制作 / 079	
第三节	喷墨印花图案的计算机图像处理	080
	一、计算机图像处理常用的色彩模式 / 081	
	二、色彩空间与色域的概念 / 090	
	三、计算机色彩管理 / 094	
第四节	喷墨印花 RIP 软件	100
	一、RIP 的概念 / 100	
	二、RIP 的主要技术指标 / 100	
	三、喷墨印花用 RIP 软件 / 101	

<b>第五节 RIP 软件支持的图片格式</b>	102
一、TIFF 文件格式 /	103
二、EPS 文件格式 /	104
三、JPEG 文件格式 /	104
四、BMP 文件格式 /	105
五、PSD 文件格式 /	106
六、PNG 文件格式 /	106
七、PDF 文件格式 /	107
八、PCX 文件格式 /	107
九、DXF 文件格式 /	107
十、WMF 文件格式 /	107
十一、TGA 文件格式 /	108
十二、GIF 文件格式 /	108

---

**第六节 ICC 特性曲线和 RIP 的色彩管理** 108

<b>第七节 喷墨印花图案制作应注意的问题</b>	110
一、喷墨印花图案的分辨率 /	110
二、图案扫描分辨率的选择 /	110
三、喷墨印花图案的色彩校正 /	110
四、建立扫描仪的特性文件 /	111
五、去网纹处理 /	111

## 第六章 活性染料墨水的喷墨印花

<b>第一节 活性染料的概念和分类</b>	112
一、按染料母体结构分类 /	112
二、按活性基分类 /	112
三、按应用分类 /	114
<b>第二节 活性染料的分子结构与性质</b>	115
一、活性染料的结构通式 /	115

二、活性染料的活性基与染色性质之间的关系 / 116

三、活性染料的母体与染色性质之间的关系 / 128

---

**第三节 活性染料的染色理论** 134

一、染料分子对纤维的吸附 / 134

二、染料分子在纤维内的扩散 / 135

三、染料分子与纤维反应而固着 / 135

四、浮色的水洗与去除 / 137

---

**第四节 活性染料墨水的制备** 138

一、喷墨印花墨水常用的活性染料 / 138

二、活性染料墨水的制备方法 / 145

---

**第五节 活性染料墨水的品种及应用** 146

一、Ciba 公司活性染料墨水及其应用 / 147

二、DuPont 公司 Artistri 700 系列活性染料墨水及其应用 / 152

三、DyStar 公司 Jettex R 系列活性染料墨水及其应用 / 154

---

## 第七章 酸性染料墨水的喷墨印花

---

**第一节 酸性染料的概念和分类** 155

一、酸性染料的概念 / 155

二、酸性染料的分类 / 155

---

**第二节 酸性染料的分子结构与性质** 156

一、偶氮类酸性染料 / 156

二、蒽醌类酸性染料 / 158

三、其他类型的酸性染料 / 159

四、酸性染料溶液的性质 / 160

---

**第三节 酸性染料的染色理论** 162

一、酸性染料的染色机理 / 162

二、影响酸性染料上染的因素 / 164

---

**第四节 酸性染料墨水的制备** 165

一、喷墨印花墨水常用的酸性染料 / 165

二、酸性染料墨水的制备方法 / 169

---

**第五节 酸性染料墨水的品种及应用** 170

一、酸性染料墨水的品种 / 170

二、酸性染料墨水的应用 / 177

---

## 第八章 分散染料墨水的喷墨印花

---

**第一节 分散染料的概念和分类** 180

一、分散染料的概念 / 180

二、分散染料的分类 / 180

---

**第二节 分散染料的分子结构与性质** 186

一、分散染料的分子结构与水溶性和分散稳定性 / 186

二、分散染料的分子结构与颜色牢度的关系 / 188

---

**第三节 分散染料的染色理论** 190

一、分散染料的染色机理 / 191

二、影响分散染料上染的因素 / 192

三、分散染料的移染和匀染 / 193

---

**第四节 分散染料墨水的制备** 194

一、喷墨印花墨水常用的分散染料 / 194

二、超细分散染料的制备与性能 / 196

三、分散染料墨水的制备方法 / 202

---

**第五节 分散染料墨水的品种及应用** 203

一、分散染料墨水的喷墨印花工艺 / 203



- 二、Terasil 系列分散染料墨水及其应用 / 207
- 三、Artistri 700 系列分散染料墨水及其应用 / 209
- 四、Bafixan 系列分散染料墨水及其应用 / 210

## 第九章 颜料墨水的喷墨印花

<b>第一节 颜料的概念和分类</b>	212
一、无机颜料 / 213	
二、有机颜料 / 213	
三、荧光颜料及珠光颜料 / 215	
四、功能颜料 / 216	
<b>第二节 颜料的分子结构与性质</b>	216
一、颜料的化学结构 / 217	
二、颜料的晶体结构 / 217	
三、颜料的粒度 / 217	
四、颜料粒子的表面状态 / 218	
五、颜料的分散性质 / 218	
<b>第三节 颜料的着色机理</b>	219
一、颜料 / 219	
二、黏合剂 / 220	
三、黏合剂的成膜机理 / 223	
<b>第四节 颜料墨水的制备</b>	225
一、用于制备颜料墨水的常用颜料 / 225	
二、超细颜料分散液的制备 / 232	
三、超细颜料分散液的性质 / 244	
四、颜料墨水的制备方法 / 254	
<b>第五节 颜料墨水的应用及品种</b>	256
一、颜料墨水的应用 / 256	
二、颜料墨水的品种 / 256	

## 第十章 喷墨印花产品

第一节 喷墨印花应用于传统印花打样	262
一、喷墨印花与传统印花打样的比较 / 262	
二、数字喷墨印花打样技术 / 264	
第二节 喷墨印花个性化服饰产品	269
一、喷墨印花用于个性化服饰产品的优点 / 270	
二、个性化服饰产品的喷墨印花 / 275	
第三节 喷墨印花家用纺织品	282
一、家用纺织品设计和打样 / 283	
二、个性化家用纺织品的喷墨印花 / 286	
第四节 喷墨印花广告和装饰品	289
一、广告产品 / 289	
二、旅游纪念品 / 290	
三、室内装饰画 / 291	
四、其他装饰品 / 292	
第五节 喷墨印花在其他领域的应用	293
一、皮革 / 293	
二、陶瓷 / 294	
三、军用纺织品 / 295	
四、喷墨印制电路板 / 296	
五、其他应用 / 297	
参考文献	298

# 第一章 数字喷墨印花技术的 起源与发展

## 第一节 数字喷墨印花技术的起源

喷墨印花是基于细小的流体分裂成液滴的原理的一种印花方式。尽管早在 1878 年 Lord Rayleigh 就描述了一束流体分裂成液滴的机理,然而直到 1948 年,瑞典的 Siemens Elema 才申请了世界上第一个利用这一原理的专利。在他发明的喷墨装置中,墨水被加压成一束墨流,用于在不断移动的介质上记录信号。20 世纪 60 年代早期,美国斯坦福大学的 Sweet 用一束压力波将细小的墨流分裂成了大小均匀的墨滴。分裂后这些墨滴被有选择地施加电荷。当这些带电的墨滴通过一个电场时,就被偏转进入墨水收集器以循环利用,而未带电荷的墨滴则直接飞向记录介质形成图像。这种方式被称为连续喷墨(continuous ink jet, CIJ)。20 世纪 70 年代,美国的 IBM 公司对这一技术在计算机喷墨打印机中的应用进行了大量的研究。

20 世纪 70 年代晚期,最早的按需喷墨(drop on demand, DOD)方式出现了,这种喷墨装置只按照墨滴在介质上成像的用途而进行喷墨。在 70~80 年代,许多按需喷墨系统被发明和商业化,如 Siemens PT-80 系列打印机均采用了按需喷墨技术。1979 年佳能(Canon)公司发明了气泡喷墨(bubble ink jet)技术。这种技术是利用靠近喷嘴的一个小加热器表面水蒸气气泡的产生和消亡将墨水从喷嘴处喷射出来的。同期,美国的惠普(Hewlett-Packard)公司独立发明了类似的喷墨技术,并称之为 Think Jet,即热气泡喷墨(thermal ink jet)技

术。气泡喷墨技术是目前成本最低的喷墨技术,被广泛应用于中低档喷墨打印机中。

数字喷墨印花(digital ink jet printing)技术是在喷墨打印技术基础上发展起来的。很多人认为,用于织物印花的数字喷墨技术起源于20世纪60~70年代美国 Milliken 公司开发的 Millitron 系统和奥地利 Zimmer 公司开发的 Chromojet 系统。当时的喷墨印花是通过计算机精确控制使墨滴偏转的阀门来实现的,由于印花精度不高,只有9~18dpi(dots per inch),主要用于一些印花精度要求不高的织物,如地毯的印花。世界上第一台用于地毯印花的喷墨印花机在1987年的国际纺织机械展览会上首次展出,这是喷墨印花机的第一代产品,也就是现在的连续式喷墨印花机最早的商业化产品。

## 第二节 数字喷墨印花技术的发展

20世纪80~90年代,随着计算机技术的迅速发展,办公自动化系统逐渐普及,用于纸张的办公室喷墨打印技术得到突飞猛进的发展。这种纸张印刷的技术被很快地移植到广告和纺织品的印花领域中。广告领域广泛使用的喷绘机是很多喷墨印花机的雏形。因此,现在很多生产喷墨印花机的公司其实也是广告喷绘机的生产商。在开发纺织品喷墨印花用设备方面,荷兰的斯托克(Stork)公司是不多见的致力于喷墨印花机开发的印染设备生产商。在1991年汉诺威国际纺织机械展览会上,荷兰 Stork 公司展出了用于织物印花的数字喷墨印花机。1995年米兰国际纺织机械展览会上,荷兰 Stork 等公司又展出了使用活性染料墨水、分辨率为360~720dpi、生产能力为4.6m<sup>2</sup>/h的宽幅数字喷墨印花机。这是数字喷墨印花机的第二代产品,在欧洲得到推广应用。日本在办公室喷墨打印机和广告喷绘机的研究与开发处

于世界领先地位,日本的 Seiren 公司也是世界上第一个把数字喷墨印花技术产业化的公司。可以说,20 世纪 80~90 年代采用喷墨打印技术的新型喷墨印花机的推出,是织物数字喷墨印花技术的一个新的里程碑。这个时期的数字喷墨印花机采用了先进的按需喷墨技术。

进入 21 世纪,纺织品数字喷墨印花技术得到了快速发展。首先,喷墨印花机的生产商数量迅速增加,印花机的性能不断提高。如意大利优佳尼(Reggiani)公司的 DReAM 数字印花机、美国杜邦(DuPont)公司的 Artistri 数字印花机、荷兰 Stork 公司的 Amethyst 数字印花机在性能上已经完全超出了广告喷绘机,是专门为纺织品印花而设计制造的印花设备。其次,喷墨印花用墨水的品种和质量不断完善和提高。汽巴、巴斯夫、杜邦、德司达等大公司都推出了品种和色谱齐全的染料和颜料墨水,为喷墨印花的产业化推广应用奠定了良好的基础。第三,数字喷墨印花的应用领域不断扩展,产业化规模不断扩大,显示出良好的产业化前景。截至 2004 年,欧洲已有数字印花工厂 20~30 家,每家工厂各有 5~20 台数字印花机不等,分布于意大利、西班牙、葡萄牙、波兰、英国和法国等国家,其中以意大利和西班牙较为集中,形成了产业群。

在我国,杭州宏华数码科技股份有限公司新开发的导带式数码喷墨印花系统,采用按需压电式喷头,速度比先前开发的喷墨印花机有较大提高,以 360dpi×360dpi 的精度打印,速度可达 32m<sup>2</sup>/h,以 720dpi×720dpi 的精度打印,速度为 12.6m<sup>2</sup>/h,为批量加工 2000~5000m 的织物创造了条件。目前国内已经非常重视数字喷墨印花机的开发,在杭州宏华公司的带动下已经出现了多家数字喷墨印花设备的开发企业。在喷墨印花墨水的研究方面,沈阳化工研究院、大连理工大学、江南大学等单位在国内较早地从事了墨水的开发工作,已经有产品供企业使用。

## 第二章 数字喷墨印花原理

### 第一节 数字喷墨印花的概念

印花是纺织品生产过程中的一个重要工序,它不仅能够为消费者提供五彩缤纷的纺织产品,而且还可以大大提高纺织品的附加价值。传统的纺织品印花需要将所要印制的图案分解成不同的颜色(分色),制成花版,然后通过对花,将图案重新组合起来,完成印花过程。因此,传统印花不论是平网还是圆网,都存在着生产工艺流程长、劳动强度大、环境污染严重等缺点。近年来,随着计算机、材料、信息和精密机械制造等相关技术的发展,数字喷墨印花技术越来越受到人们的重视。

#### 一、墨滴体积和分辨率

数字喷墨印花是用扫描仪、数字摄像机、数字照相机等手段,把需要印花的图案以数字形式输入计算机,经过图像软件处理后,再通过计算机控制的数字喷墨印花机,直接将印花墨水喷射到织物上,印制出所需的各种图案。喷墨印花与传统印花有本质的不同,它是一种非接触印花,印花图案是靠不同颜色的微小墨滴直接在织物表面混合形成的。因此,墨滴的形成、形状和大小对喷墨印花图案的质量有非常重要的影响。在喷墨印花技术的研究和应用方面,常常用墨滴的体积来衡量喷墨印花打印部件的性能,墨滴的体积单位一般用皮升(pico liters,缩写为 pL,  $1\text{pL}=1\times 10^{-12}\text{L}$ )来表示。墨滴的体积越小,说明印花机的印花精度越高。

随着数字喷墨打印技术的发展,商业打印喷头喷射的液滴体积发生了显著的变化。第一款台式按需喷墨热气泡喷墨打印机喷头产生的液滴体积超过 100pL,而现在用于照片打印的热气泡喷墨(TIJ)或压电喷墨(PIJ)喷头喷射的液滴体积可以小到1.5~2pL。

但是在谈到喷墨印花质量时,液滴体积不能和分辨率混淆。分辨率是指每英寸内墨滴的数目(dots per inch),也称为 dpi。一般打印墨点分布在矩形的格子中。在这种情形下,有两个方向的 dpi。这两个方向是相互垂直的。例如,一台打印机用可往复运动的打印喷头,可以打印出分辨率为 2400dpi×1200dpi 的图像。这意味着墨点在喷头运行方向的分辨率为 2400dpi,垂直方向上的分辨率为 1200dpi。随着分辨率的提高,图像质量相应提高,但当打印的墨点直径比分辨率大很多的时候,图像质量的提高就不是很显著了。分辨率是喷墨打印系统的一个基本要素,通过喷头的多次重复打印,可以有效提高喷头的打印分辨率。但是,墨滴的最小体积是喷头的特征参数,对于特定的喷头来说是不能更改的。关系图像质量的另一个喷头特性是同一个喷头喷射不同体积的墨滴的能力。

喷墨印花机喷出的墨滴在接触织物表面时,通常形成一个不规则的圆点。墨滴一旦离开喷嘴,首先形成一个“颈部”,理想状况下这个颈部会回缩到喷嘴内部,使得这个液滴在到达织物之前变成球形。如果条件不合适,这个颈部太长,就会使分离后的颈部变得断断续续,呈卫星状。一般来说,墨滴的体积分布范围相当广,但主要在 5~10pL 之间,这取决于喷头的设计和电压信号的波形。

## 二、像素与印花清晰度

组成喷墨印花图案的像素实际上是各种墨滴有序地堆积在织物



表面,形成所谓的“超级像素”,通常以  $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$  或  $8 \times 8$  墨滴矩阵为基础,每种颜色的墨滴都被喷射在这些矩阵中。虽然某些印花机使用六边形矩阵模型,但大多数喷墨印花机只将一个彩色墨滴喷射至一个或多个  $16$ 、 $36$  或  $64$  矩阵中,这就是著名的二位系统。许多技术成熟的印花机,特别是连续供墨型印花机,能通过喷射几个墨滴来调节超级像素中任一位置的墨水用量。一些先进的热气泡式印花机和压电式印花机,可以将各种颜色的墨滴喷射到任一超级像素,产生中间色调效果。图 2-1 所示为二位和多位中间色的形成过程。

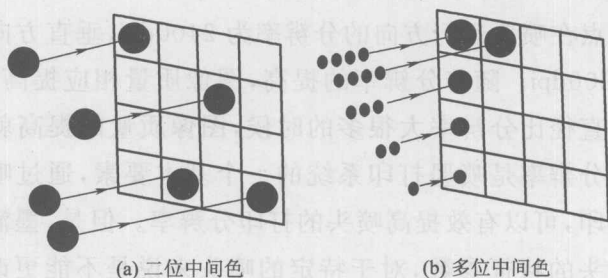


图 2-1 二位和多位中间色的形成过程

表 2-1 是矩阵大小所产生的灰度和颜色数目,表中所示的数据是使用青色、品红、黄色三色墨水二位系统印花机所计算出来的理论数值。喷墨打印机用于纸张打印,分辨率能达到  $1200/1400\text{dpi}$ ,用于

表 2-1 CMY 墨水的灰度和颜色数目

超级像素矩阵	灰度(包括白色)	颜色数目
$4 \times 4$	17	4913
$6 \times 6$	37	50653
$8 \times 8$	65	274625
$16 \times 16$	257	$16.7 \times 10^6$



织物印花一般可达到 300/360dpi 或 600/720dpi。打印机的打印分辨率 dpi 和印制图案中每英寸的像素数——图案的清晰度(用 ppi 表示, pixels per inch)经常会发生混淆, ppi 值是由超级像素矩阵的大小决定的。使用  $4 \times 4$  矩阵的 300dpi 打印机打出的图像清晰度与使用  $8 \times 8$  矩阵的 600dpi 打印机的清晰度是一样的, 都是 75ppi。

在喷墨印花时, 为了避免出现 V 形波纹和杂色斑点, 影响图像质量, 可采用精确控制超级像素中每个墨滴的位置的方法, 以获得自然流畅的色彩过渡。图 2-2 说明了单色打印机图像形成的简单情况。打印机内黑色墨滴有序地按  $4 \times 4$  矩阵整齐排列, 达到 17 级灰度 (grey level)。然而, 单个墨滴在排列时通常会发生“抖动”, 即墨滴在矩阵中从一个像素自由地转向另一个像素。在彩色图像中, 每个红、黄、蓝色像素成分都是独立抖动的。不同的抖动算法差别很大, 常常可以分为“有序”、“随机”或“离散”等类别, 所用的都是误差分析法。

图 2-3 是打印的超级像素的放大照片, 是以  $4 \times 4$  矩阵、300dpi 打印的连续超级像素图片。为了清楚起见, 在像素间保留了较大的未打印区域。超级像素内的墨滴个数越多, 颜色就越深, 但两者之间并不是线性关系。当墨滴布满超级像素的所有区域, 没有留下白底时, 颜色深度不再有明显增加。因此, 为了获得最大程度的颜色深度, 墨滴体积要小并且打印在织物表面上后要尽可能不扩散, 以最小墨滴的形式吸附在基质表面, 以便于干燥, 这些在很大程度上取决于织物的预处理。随着每个像素中墨滴数的增加, 一些墨滴会喷射到被其他墨滴预先润湿的区域, 导致超级像素墨滴覆盖的总体区域扩大, 使颜色深度增加。

当用 CMY 墨水打印中性灰度(即当  $R=G=B$ )时, 可以认为在超级像素墨滴矩阵中每种颜色的墨水滴数是相同的, 但事实并不是这样, 因为伴随着颜色深度的增加, 品红、青色、黄色的颜色数