

当代化学学术精品译库

# 喷墨打印 油墨化学

## THE CHEMISTRY OF INKJET INKS

[以色列] Shlomo Magdassi 编著 赵红莉 蓝闽波 译



华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

# 喷墨打印 油墨化学

## THE CHEMISTRY OF INKJET INKS

现代打印技术是基于数字化信息的技术，它将这些信息在基底，例如纸上一个一个像素地表达出来。数字打印最普遍的方法之一是使用喷墨打印机，已在各种办公和私人场所广泛使用，并应用于工业，如宽幅打印。迄今为止，多数喷墨打印技术被用于图像打印，也就是说将传统的文档印刷转变成数字打印。喷墨打印非常强大，甚至可以用来打印各种功能性材料，例如导电油墨、发光二极管（LED）、以及三维结构。这个领域已成为研究热点，每年会召开科学和工业领域的会议、公开大量专利；而且，近来此领域科研论文也呈上升趋势，这些论文大多集中在功能性打印材料以及打印样品的独特性等方面。

喷墨打印的过程非常复杂，需要对油墨的化学以及物理化学性质精细调配。油墨也需要符合一些要求，包括存储稳定、喷射性能、色彩管理（就图像打印而言）、基底上的润湿和吸附性质。显然这些要求基于不同的科学原理，如胶体化学、物理和化学工程，因此需要一本学科交叉的书能够全面覆盖这些方面，用于指导打印油墨的制备及使用。

由本书目录可知，本书为决定油墨性能、油墨配方的一些重要参数提供基本及必要的信息，并且深入探讨了一些喷墨打印功能性材料的新型应用。因此我希望这本书能给研究油墨配方和油墨化学品合成的工业化学工作者、化学工程师，研究油墨流变学的物理学家，以及致力于利用喷墨打印技术打印新材料、发展新型应用的研究机构的工作者提供一些帮助。书中各个章节分别由来自学术机构以及在油墨配方和原材料制造领域领先的公司的专家编写。

全书共分三个部分，第一部分包括前五章，为基本概念部分，主要讲述打印技术、颜料和油墨的配方以及油墨与基底的相互作用；第二部分共六章，主要讲述实际喷墨打印油墨的配方及原材料，并讨论油墨的主要类别：水性油墨、溶剂油墨和紫外光固化油墨；第三部分的五个章节介绍了一些独特的油墨体系和功能性油墨，比如用于制造三维（3D）结构的油墨和打印电子设备的油墨。

我感谢那些为了本书的出版花费了很多精力的作者。我也感谢Vinetsky博士为本书最后定稿，以及世界科学出版社的专业团队。最后但同样重要的，我也对我所有的学生表示感谢，他们为喷墨打印新型材料以及创新的应用做了许多研究。

Professor Shlomo Magdassi

The Hebrew University of Jerusalem, Israel

February 2009, Jerusalem

华东理工大学出版社



扫描关注官方微博

华东理工大学出版社



扫描关注官方微博

ISBN 978-7-5628-4428-0



9 787562 844280 >

定价:65.00元

当代化学学术精品译库

# 喷墨打印油墨化学

The Chemistry of Inkjet Inks

[以色列] Shlomo Magdassi 编著

赵红莉 蓝闽波 译



华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

喷墨打印油墨化学 / (以)马格达斯(Magdassi, S.) 编著;  
赵红莉, 蓝闽波译. —上海: 华东理工大学出版社, 2016. 1  
(当代化学学术精品译库)  
ISBN 978-7-5628-4428-0

I. ①喷… II. ①马… ②赵… ③蓝… III. ①喷墨打印—油墨—化工生产 IV. ①TS951.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 248142 号

Copyright © 2009 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

Simplified Chinese translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.

著作权合同登记号: 图字 09-2015-729 号。

当代化学学术精品译库

## 喷墨打印油墨化学

编 著 / [以色列] Shlomo Magdassi

译 者 / 赵红莉 蓝闽波

策划编辑 / 周永斌

责任编辑 / 徐知今

责任校对 / 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

(021)64251837(编辑室)

传 真: (021)64252707

网 址: [press.ecust.edu.cn](http://press.ecust.edu.cn)

印 刷 / 山东鸿君杰印务集团有限公司

开 本 / 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 282 千字

版 次 / 2016 年 1 月第 1 版

印 次 / 2016 年 1 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-4428-0

定 价 / 65.00 元

联系我们: 电子邮箱 [press@ecust.edu.cn](mailto:press@ecust.edu.cn)

官方微博 [e.weibo.com/ecustpress](http://e.weibo.com/ecustpress)

天猫旗舰店 <http://hdlgdxcebs.tmall.com>



# 译者序

喷墨打印技术具有很大的发展及应用前景,是诸多打印技术的基础。本书对喷墨打印的一些基本概念,常用材料系统以及特殊的材料系统进行了详细介绍。书中各个章节分别由来自学术机构以及在油墨配方和原材料制造领域领先的公司的专家编写,对相关科研领域以及实际应用均具有一定的指导价值。特别是近年来,3D 打印(3D Printing)技术和产业进入了一个非常活跃和快速发展的阶段,其中打印材料其核心部分,材料技术的发展直接决定了 3D 打印机能制造多少种东西,以及打印出的产品能不能完全取代传统制造业的产品。本书的基础知识和 3D 打印方面的介绍对此均具有参考价值。

此书原版书作者 Shlomo Magdassi 是以色列希伯来大学(the Hebrew University of Jerusalem, HU)应用化学教授,现就职于希伯来大学化学研究所及纳米科技中心,在胶体化学、喷墨打印油墨化学以及 3D 打印等研究领域享有盛誉,与多个公司合作开展科研项目,如化妆品、制药及数字打印等领域的公司。在本领域具有国际影响力的刊物上发表 180 多篇学术论文,主编论著 4 部,参与撰写相关章节的专著 20 部;在本领域拥有多项重要的发明专利,其中部分已产业化应用。作为多年的好朋友,Shlomo Magdassi 教授 2014 年受邀成为华东理工大学客座教授,并经常来中国讲学。能够及时将这一著作翻译出版,对于该领域的研究工作者、特别是青年学者具有很好的引导作用,对推动该领域的发展也会起到积极作用。

值此书翻译出版之际,我们首先要感谢参与翻译的研究生朱翔、施立波、唐杰、张登浩、刘婷婷、洪亚云、蔡璇、李小庆等,他们为翻译本书初稿作出了努力!初稿由赵红莉博士整理翻译,最终我们一起定稿。整个翻译过程虽然劳累,历经反复修改和研读,但是最终定稿时的喜悦也是巨大的,我们收获了丰厚的知识,值得纪念!

最后,再次感谢原著作者 Shlomo Magdassi 教授各方面的支持和帮助,为此书翻译我们和他进行了多次交流和讨论,他对本书中文版的出版也给予了极

大的关心。当然,由于我们自身水平所限,此书的翻译难免有不足甚至错误之处,望不吝指正!

蓝闽波  
华东理工大学  
2015年10月

# 前 言

现代打印技术是基于数字化信息的技术,它将这些信息写在基底上,例如在纸上一个一个像素地表达出来。数字打印最普遍的方法之一是使用喷墨打印机,目前已在各种办公和私人场所被广泛使用,并应用于工业,如宽幅打印。迄今为止,多数喷墨打印技术被用于图像打印,也就是说将传统的文档印刷转变成数字打印。喷墨打印技术的功能非常强大,甚至可以用来打印各种功能性材料,例如导电油墨、发光二极管(LED),以及三维结构。这个领域已成为研究热点,每年会召开科学和工业领域的会议,公开大量专利,而且,近年来此领域科研论文也呈上升趋势,这些论文大多集中在功能性打印材料以及打印样品的独特性等方面。

喷墨打印的过程非常复杂,需要对油墨的化学以及物理化学性质精细调配。油墨也需要符合一些要求,包括存储稳定、喷射性能、色彩管理(就图像打印而言)、基底上的润湿和吸附性质。显然这些要求基于不同的科学原理,如胶体化学、物理和化学工程,因此需要一本学科交叉的书能够全面覆盖这些方面,用于指导打印油墨的制备及使用。

由本书目录可知,本书为决定油墨性能、油墨配方的一些重要参数提供基本及必要的信息,并且深入探讨了一些喷墨打印功能性材料的新型应用。因此希望这本书能给研究油墨配方以及油墨化学品合成的工业化学工作者、化学工程师,研究油墨流变学的物理学家,以及致力于利用喷墨打印技术打印新材料、发展新型应用的研究机构的工作者提供一些帮助。书中各个章节分别来自学术机构以及在油墨配方和原材料制造领域技术领先公司的专家编写。

全书共分三个部分,第一部分包括前五章,为基本概念部分,主要讲述打印技术、颜料和油墨的配方以及油墨与基底的相互作用;第二部分共六章,主要讲述实际喷墨打印油墨的配方及原材料,并讨论油墨的主要类别:水性油墨、溶剂型油墨和紫外光固化型油墨;第三部分的五个章节介绍了一些独特的油墨体系和功能性油墨,比如用于制造三维(3D)结构的油墨和打印电子设备的油墨。

我想感谢那些为了本书的出版花费了很多精力的作者,也要感谢 Vinetsky 博

士为本书最后定稿,以及世界科学出版社的专业团队。最后但同样重要的,我也要对我所有的学生表示感谢,他们为喷墨打印新型材料以及创新的应用做了许多研究。

Professor Shlomo Magdassi  
The Hebrew University of Jerusalem, Israel  
February 2009, Jerusalem



# 目 录

## 第一部分 基本概念

第 1 章 喷墨打印技术 .....	3
1.1 引言 .....	3
1.2 当前新兴市场 .....	3
第 2 章 油墨的要求和配方指南 .....	13
2.1 油墨制备和组成 .....	14
2.2 油墨的存储期 .....	15
2.3 油墨打印头性能 .....	19
2.4 基底上的油墨 .....	23
2.5 总结 .....	24
第 3 章 平衡态润湿基本原理 .....	27
3.1 引言 .....	27
3.2 理想表面的润湿 .....	28
3.3 真实表面的润湿 .....	29
3.4 总结与结论 .....	32
第 4 章 液滴在基底上的行为 .....	35
4.1 引言 .....	35
4.2 结论 .....	44
第 5 章 用于喷墨打印的可剪裁基底 .....	47
5.1 引言 .....	47
5.2 打印品质解决方案 .....	49
5.3 总结 .....	60

## 第二部分 喷墨打印油墨的配方和材料

第 6 章 喷墨打印用颜料 .....	65
6.1 引言 .....	65
6.2 炭黑 .....	66
6.3 有机颜料 .....	68
6.4 喷墨打印颜料的分散方法(纳米分散液) .....	71
6.5 表面改性 .....	73
第 7 章 水性喷墨打印油墨的配方与性质 .....	80
7.1 引言 .....	80
7.2 打印喷头上的油墨喷射 .....	81
7.3 纸张上的油墨 .....	85
7.4 实例——在普通纸张上使用的黑色油墨 .....	88
致谢 .....	90
第 8 章 溶剂型喷墨打印油墨 .....	92
8.1 连续型喷墨打印机使用的溶剂型油墨配方 .....	92
8.2 压电式按需滴落型打印喷头的溶剂型油墨配方 .....	98
第 9 章 紫外光固化喷墨打印油墨配方 .....	103
9.1 引言 .....	103
9.2 紫外光固化喷墨打印油墨的配制 .....	104
9.3 起始配方 .....	110
9.4 总结 .....	111
第 10 章 用于紫外光固化油墨的原料 .....	112
10.1 引言 .....	112
10.2 紫外光固化 .....	112
10.3 丙烯酸酯——类型及性质 .....	113
10.4 丙烯酸酯低聚物 .....	124
10.5 氨基改性聚酯和增效剂 .....	126
10.6 自由基体系的光引发剂 .....	127
10.7 经典配方 .....	127
10.8 阳离子体系 .....	128

第 11 章 其他独特的喷墨打印油墨体系 .....	131
11.1 引言 .....	131
11.2 胶束和微乳液喷墨打印油墨 .....	131
11.3 乳液和细乳液喷墨打印油墨 .....	134
11.4 聚电解质油墨 .....	135
11.5 光学设备的喷墨打印 .....	136

### 第三部分 特种喷墨打印材料

第 12 章 用于喷墨打印的导电油墨 .....	145
12.1 引言 .....	145
12.2 导电油墨的应用和市场 .....	145
12.3 与其他打印技术的比较 .....	146
12.4 生产商和价格 .....	148
12.5 导电油墨的化学性质 .....	149
12.6 烧结与电阻率 .....	152
12.7 打印的问题 .....	155
12.8 打印系统的过程集成 .....	157
12.9 未来趋势 .....	158
第 13 章 3D 喷墨打印 .....	163
13.1 引言 .....	163
13.2 实体无模成型(Solid Freeform Fabrication, SFF)技术 .....	164
13.3 3D 喷墨打印 .....	165
13.4 聚合物喷射工艺 .....	167
13.5 PolyJet 技术的材料 .....	168
13.6 3D 喷墨打印技术的新发展 .....	169
13.7 数码材料 .....	169
第 14 章 生物墨水及相关技术应用 .....	171
14.1 引言 .....	171
14.2 微接触打印 .....	171
14.3 电子束辐射 .....	172
14.4 非接触式打印 .....	173
14.5 总结 .....	177

第 15 章 印刷电子品 .....	180
15.1 引言 .....	180
15.2 技术概述 .....	186
15.3 总结 .....	198
第 16 章 陶瓷油墨 .....	201
16.1 引言 .....	201
16.2 陶瓷分散液的流变性 .....	202
16.3 陶瓷油墨的化学组成 .....	207
16.4 液滴形成与喷墨过程的稳定性 .....	210
16.5 喷嘴的磨损 .....	212
索引 ( Index ) .....	214

## 第一部分

# 基本概念



# 第 1 章

## 喷墨打印技术

3①

Alan Hudd

*Xennia Technology Limited*

### 1.1 引言

喷墨打印是一种低价、可靠、快速、方便地打印数码文件的方法，普遍被消费者所采用，目前已经成为一个家喻户晓的词汇。自 20 世纪 50 年代以来，尽管喷墨打印技术已经应用到一些产品上，如西门子的医疗条形图表纸记录仪<sup>[1]</sup>，并且在 20 世纪 70 年代的高速数据编码仪器中成功实现商业化<sup>[2]</sup>，然而，直到现在人们才广泛意识到这一技术在工业应用中的潜在影响。

喷墨打印从理论上讲是很简单的，就是印刷喷头将油墨液滴喷射到基底上。实际上，这项技术极其复杂，需要用到不同的学科技能。其可靠运行取决于精细的设计、实施和操作整套完整的系统，这个系统中所有的元素都是不可或缺的。

既然喷墨打印技术具有一定的复杂性，那为什么这项技术还会受到工业界的青睐呢？喷墨打印技术的特点使它在实际应用方面具有很大的优势。喷墨打印不仅仅是一种印刷或标记技术，它也能应用于涂层，准确沉积特定数量的材料，甚至用于搭建微观或者宏观结构。工业上广泛应用的喷墨打印技术包括降低制造成本、提供高质量产出、将模拟量转化成数字量、减少库存、处理大型、小型、弹性、易碎或者非平面基底、减少废弃物、大批量定制、更快速的原型开发以及实现即时制造等。

4

将工业喷墨打印技术引入制造业中无论是推动一个微小的改进，还是一场大规模的变革，其商业价值都是显而易见的。

### 1.2 当前新兴市场

工业喷墨打印技术成功的商业应用包括：高速编码、包裹或产品封装标记、

① 边栏数字为原版图书页码，与索引中的页码对应。

邮件编址、仿木门和家具制造、户内外标志和海报的宽幅图像打印、贸易展览展示牌、广告牌以及横幅标语。

喷墨印刷在新兴市场中应用广泛,从实用到精美的装饰。未来的工业应用包括纺织品、陶瓷制品以及食物的包装润色;运用喷墨打印技术代替已有模拟制造工艺如移印、丝网印刷、喷涂、辊印和转印;引进高速数字窄幅卷筒压力机提高(或者在某种情况下代替)模拟高速柔印或平版印刷设备在标签、杂志和书籍的印刷需求。一些媒体关注的及科学研究的特别热门的话题,大部分仍处于顶端的商业成功范畴,包括将工业喷墨打印沉积应用于生命科学(例如:蛋白质组学,DNA 测序,甚至是打印活体组织生长的支架)<sup>[3]</sup>,3D 快速成型<sup>[4]</sup>,光学设备(如透镜<sup>[5]</sup>;导光管以及胶片),电子应用<sup>[6]</sup>(如柔性显示器、滤光片的制备、导电背板,LCD 功能层、隔珠、黑矩阵),以及印刷电子产品(如无线射频识别(RFID)、传感器、太阳能电池板、燃料电池、蓄电池和电路等)。

应用喷墨方法的各种技术的原因各有不同,例如:

5

应用	喷墨打印的优势
汽车涂层	替代喷涂和转印,减少废弃物,提高涂层均匀性
塑料装饰部分	非接触式自由曲面。提高移印或丝网印刷的质量。数字印刷消除了移印或丝印中对存量的要求,使得更为快速成型且设计多样化。着色过程减少了油墨中有色油墨的数量
导电图形	贵重材料的浪费最小化,非常适合于短期印刷
快速成型	使用电脑软件设计,快速形成三维结构
变量信息	允许快速更改印刷信息,与模拟印刷工艺不同,不需要新硬件(例如:丝网印刷中的网版)
陶瓷制品	设置时间的最小化,消除丝印中对网版存量的要求

### 1.2.1 工业喷墨打印技术的说明

尽管所有的喷墨打印技术可以简要概述为数字化控制的墨滴由打印头喷射到基底上,然而实现这一过程的方式是多样性的。工业喷墨印刷技术的一般且最典型的分类为两类:连续喷印技术(CIJ)和按需喷印技术(DOD),在每个类别下有不同的形式。

顾名思义,连续喷墨打印技术是在印刷时连续喷射出液滴<sup>[2]</sup>(如图 1-1A),这些液滴不是直接滴到基底上,就是滴到集电极上再循环利用;而按需喷墨打印技术则是在要求的时候喷射出液滴<sup>[7-9]</sup>(如图 1-1B 所示)。

连续喷墨打印(Continuous Inkjet, CIJ)被视为一项并不专业的技术,主要用于产品和包装的标记和编码。在这项技术中,泵直接将液体从存储器中引入喷嘴,并通过压电晶体震动以高频(范围大概在 50 kHz 和 175 kHz 之间)连续喷射出液滴流。液滴在静电场的作用下带上电荷,随后带电液滴通过偏转场,偏转场决定了液滴滴落的位置。未参与打印的液滴被收集起来,再循环利用。



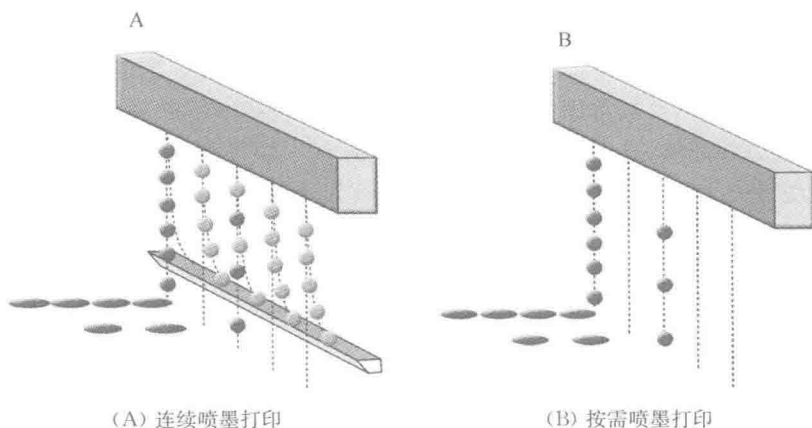


图 1-1 两种类型的喷墨打印方式示意图

CIJ 高的滴落频率直接转换成高速的印刷能力,应用于在饮料罐上印刷日期编码可作为这一能力的证明。CIJ 的另一优势是高的滴落速率(达 25 m/s),这允许打印头和基底之间相对(与其他喷墨印刷技术相比)距离较远,对于工业环境中的印刷是非常有用的。最后,从使用历史上可以看出 CIJ 相对于其他喷墨印刷技术有一个明显的优势,它可以使用基于挥发溶剂配制的油墨,油墨能快速干燥并较快地黏附在诸多基底上。CIJ 的缺点包括印刷分辨率相对较低,维护费用高,而且有观点认为由于 CIJ 在印刷过程中使用基于挥发溶剂的流体,是一种比较脏且环境不友好的技术。此外,CIJ 在使用过程中强制要求印刷的液流拥有可携带电荷的性能。

按需喷印技术(Drop-on-Demand Inkjet, DOD)是一种广泛使用的喷墨打印技术,液滴只有在需要的时候喷射。通常情况下液滴由压力脉冲形成<sup>[7-9]</sup>,用于产生这种压力脉冲的特定方法决定了 DOD 的分类方式。DOD 主要的分类有热敏式<sup>[11,12]</sup>,压电式<sup>[7-9]</sup>和静电式<sup>[12]</sup>。有时,也会加入另一种分类(MEMS),但 MEMS 按需喷墨的打印头仍然是基于压电或热喷印技术的。

热转印喷墨打印技术主要用于普通消费者台式印刷机上,并向工业界发展。这项技术中,液滴的形成是由于快速加热含有油墨的墨盒中的电阻元件(图 1-2)。电阻元件的温度上升到 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ ,引起加热器上方的油墨薄膜蒸发,蒸发迅速产生气泡,产生气压脉冲推动液滴通过喷嘴。液滴喷射后在墨盒中形成一个空洞,随即被液体填满,等待形成下一个液滴。

热转印打印技术的优

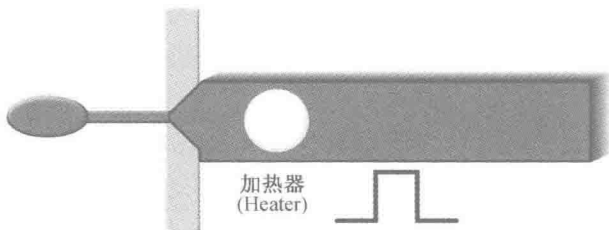


图 1-2 热转印打印喷头示意图