



纳米科学与技术

纳米材料与绿色印刷

宋延林 等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
纳米科学与技术

纳米材料与绿色印刷

宋延林 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

印刷术在人类文明发展历史中发挥了重要作用。将纳米科技的创新研究成果与古老的印刷技术相结合,为印刷产业的绿色发展打开了一扇新的大门,将继续书写印刷术的传奇。本书主要介绍了纳米绿色印刷技术的发展及其应用,以专业的视角和通俗易懂的语言,全面系统地阐述了“绿色制版、绿色版材、绿色油墨”的完整纳米绿色印刷原理与材料体系,归纳总结了印刷电子、印刷光子和3D打印印刷的最新进展。

本书不仅可以作为印刷、新材料和纳米科技领域本科生、研究生的入门教程以及相关研究人员的专业参考书,也适合对印刷技术、纳米制造、印刷电子乃至可穿戴电子器件等感兴趣的非专业读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

纳米材料与绿色印刷/宋延林等著. —北京:科学出版社,2018.3

(纳米科学与技术/白春礼主编)

ISBN 978-7-03-056577-8

I. 纳… II. 宋… III. 纳米材料-应用-印刷术-无污染技术
IV. TS805

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第030062号

丛书策划:杨震/责任编辑:张淑晓 孙曼/责任校对:韩杨

责任印制:肖兴/封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

河北鹏润印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2018年3月第一版 开本:720×1000 1/16

2018年3月第一次印刷 印张:20

字数:400 000

定价:158.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《纳米科学与技术》丛书编委会

顾 问 韩启德 师昌绪 严东生 张存浩

主 编 白春礼

常务副主编 侯建国

副主编 朱道本 解思深 范守善 林 鹏

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

陈小明 封松林 傅小锋 顾 宁 汲培文 李述汤

李亚栋 梁 伟 梁文平 刘 明 卢秉恒 强伯勤

任咏华 万立骏 王 琛 王中林 薛其坤 薛增泉

姚建年 张先恩 张幼怡 赵宇亮 郑厚植 郑兰荪

周兆英 朱 星

《纳米科学与技术》丛书序

在新兴前沿领域的快速发展过程中，及时整理、归纳、出版前沿科学的系统性专著，一直是发达国家在国家层面上推动科学与技术发展的重要手段，是一个国家保持科学技术的领先权和引领作用的重要策略之一。

科学技术的发展和应用，离不开知识的传播：我们从事科学研究，得到了“数据”（论文），这只是“信息”。将相关的大量信息进行整理、分析，使之形成体系并付诸实践，才变成“知识”。信息和知识如果不能交流，就没有用处，所以需要“传播”（出版），这样才能被更多的人“应用”，被更有效地应用，被更准确地应用，知识才能产生更大的社会效益，国家才能在越来越高的水平上发展。所以，数据→信息→知识→传播→应用→效益→发展，这是科学技术推动社会发展的基本流程。其中，知识的传播，无疑具有桥梁的作用。

整个 20 世纪，我国在及时地编辑、归纳、出版各个领域的科学技术前沿的系列专著方面，已经大大地落后于科技发达国家，其中的原因有许多，我认为更主要的是缘于科学文化的习惯不同：中国科学家不习惯去花时间整理和梳理自己所从事的研究领域的知识，将其变成具有系统性的知识结构。所以，很多学科领域的第一本原创性“教科书”，大都来自欧美国家。当然，真正优秀的著作不仅需要花费时间和精力，更重要的是要有自己的学术思想以及对这个学科领域充分把握和高度概括的学术能力。

纳米科技已经成为 21 世纪前沿科学技术的代表领域之一，其对经济和社会发展所产生的潜在影响，已经成为全球关注的焦点。国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 会刊在 2006 年 12 月评论：“现在的发达国家如果不发展纳米科技，今后必将沦为第三世界发展中国家。”因此，世界各国，尤其是科技强国，都将发展纳米科技作为国家战略。

兴起于 20 世纪后期的纳米科技，给我国提供了与科技发达国家同步发展的良好机遇。目前，各国政府都在加大力度出版纳米科技领域的教材、专著以及科普读物。在我国，纳米科技领域尚没有一套能够系统、科学地展现纳米科学技术各个方面前沿进展的系统性专著。因此，国家纳米科学中心与科学出版社共同发起并组织出版《纳米科学与技术》，力求体现本领域出版读物的科学性、准确性和系统性，全面科学地阐述纳米科学技术前沿、基础和应用。本套丛书的出版以高质量、科学性、准确性、系统性、实用性为目标，将涵盖纳米科学技术的所有领域，全

面介绍国内外纳米科学技术发展的前沿知识；并长期组织专家撰写、编辑出版下去，为我国纳米科技各个相关基础学科和技术领域的科技工作者和研究生、本科生等，提供一套重要的参考资料。

这是我们努力实践“科学发展观”思想的一次创新，也是一件利国利民、对国家科学技术发展具有重要意义的大事。感谢科学出版社给我们提供的这个平台，这不仅有助于我国在科研一线工作的高水平科学家逐渐增强归纳、整理和传播知识的主动性(这也是科学研究回馈和服务社会的重要内涵之一)，而且有助于培养我国各个领域的人士对前沿科学技术发展的敏感性和兴趣爱好，从而为提高全民科学素养做出贡献。

我谨代表《纳米科学与技术》编委会，感谢为此付出辛勤劳动的作者、编委会委员和出版社的同仁们。

同时希望您，尊贵的读者，如获此书，开卷有益！



中国科学院院长

国家纳米科技指导协调委员会首席科学家

2011年3月于北京

前 言

日益严峻的环境问题对我国经济的可持续发展提出了巨大挑战，转变经济增长方式、提高经济增长的质量已迫在眉睫。无论是为人类文明发展做出巨大贡献的印刷业，还是信息产业基础之一的印刷电路板行业，由于传统的减材制造(感光、刻蚀等)工艺，都会产生大量的废液、固体废弃物和废气，造成严重的环境污染和材料浪费。纳米材料作为新材料发展的重要方向之一，已成功用于电子信息、航空航天、生物医学、先进制造业等许多领域，正在极大地改变人们的日常生活和工作。将纳米材料的最新研究成果应用于印刷领域，以增材制造的理念实现印刷产业的低排放、低能耗与低成本，将对印刷产业的发展产生革命性影响，不仅可以从源头解决传统生产工艺产生的污染问题，还将突破传统印刷技术的局限，促进形成新的绿色产业链，推动多个重要产业的可持续发展，具有重大的环境、经济和社会意义。

本书结合中国科学院绿色印刷重点实验室关于纳米材料制备及结构性能调控的长期研究积累，凝练出印刷技术过程中墨滴的扩散、融合、去浸润与黏附，以及纳米结构与光电性质调控等科学问题，围绕“纳米材料与绿色印刷”的主题，从印刷技术与现状、纳米材料与液滴控制、纳米绿色印刷技术的拓展应用等方面入手，系统阐述了纳米材料科学的进步对传统印刷技术乃至传统制造业的变革性影响。以纳米材料与表面浸润性和液滴行为控制等基础科学问题为主线，重点介绍纳米材料创新研究对印刷技术绿色化进程及产业拓展的影响。作者提出，在纳米材料最新研究成果的推动下，印刷技术作为实现增材型图案化的高效生产技术，将在诸多重要制造产业和战略新兴产业领域发挥重要作用：在传统印刷包装领域，发展环境友好的版基、制版、油墨新技术和新产品，以及向印染、建筑陶瓷、玻璃等图案制造发展，将从根本上解决传统生产过程中的高耗能、高污染问题；在向信息产业领域拓展方面，印刷电子将大有作为；在从平面印刷到三维结构制造方面，3D 打印、3D 印刷技术将蓬勃发展；在信息时代的先进光电器件制造领域，印刷技术的前景更加广阔。基于此，作者提出在纳米科技的推动下，印刷技术向“绿色化、功能化、立体化、器件化”发展的方向和趋势，以期积极应对印刷产业所面临的问题与挑战，也为纳米材料研究和绿色印刷产业的发展提供有益的参考和启示。

本书在成稿过程中得到科学出版社张淑晓博士的热情帮助，本书的出版得到国家科学技术学术著作出版基金的大力支持。本实验室的很多老师和研究生参加了本书的资料收集和撰写工作，在此向他们表示衷心感谢！由于作者水平有限，本书难免有疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

宋延林

2018年2月于中国科学院化学研究所

目 录

《纳米科学与技术》丛书序

前言

第1章 印刷技术	1
1.1 基于物理成像的印刷技术	2
1.2 基于感光材料发展的印刷技术	4
1.2.1 感光材料的出现	4
1.2.2 照相制版技术	4
1.2.3 彩色复制技术	5
1.2.4 近现代印刷技术的发展	10
1.3 数字印刷技术	21
1.3.1 磁成像数字印刷	21
1.3.2 热成像数字印刷	22
1.3.3 电子束成像数字印刷	23
1.3.4 静电成像数字印刷	23
1.3.5 喷墨数字印刷	24
1.4 印刷产业的绿色化	30
1.4.1 绿色印刷版基	30
1.4.2 绿色印刷版材	31
1.4.3 绿色印刷油墨	34
1.4.4 其他新型环保技术	37
1.5 总结和展望	40
参考文献	41
第2章 纳米技术与绿色印刷	45
2.1 纳米材料	46
2.1.1 纳米材料的提出与发展	46
2.1.2 纳米材料的制备	48
2.1.3 纳米材料的特性	51
2.1.4 纳米材料在印刷中的应用	54
2.2 微纳表界面浸润性	62

2.2.1	表面浸润性	62
2.2.2	粗糙表面浸润性	64
2.2.3	超亲水/超疏水表面	65
2.2.4	浸润状态转变	69
2.2.5	浸润性的尺度效应	70
2.2.6	表面对液滴的黏附性	72
2.3	印刷过程中的界面浸润性	75
2.3.1	印刷中界面浸润性关键科学技术问题	75
2.3.2	印刷中的微纳表界面浸润性	78
2.3.3	固-液界面与图文转印	82
2.3.4	液-液界面与图文转印	86
2.4	小结	93
	参考文献	93
第3章	纳米材料绿色制版技术	97
3.1	纳米材料绿色制版技术基本原理	97
3.2	喷墨印刷制版	100
3.3	液滴喷射与断裂	101
3.3.1	瑞利不稳定与喷墨印刷	101
3.3.2	高能场效应与喷墨印刷	104
3.4	液滴聚并	110
3.4.1	不含纳米颗粒体系中两液滴的融合	110
3.4.2	含纳米颗粒体系中两液滴的融合	117
3.4.3	连续图案的印刷	118
3.5	液滴干燥与图案形貌	123
3.5.1	“咖啡环”效应	124
3.5.2	抑制“咖啡环”效应	127
3.6	绿色制版系统	137
3.7	小结	140
	参考文献	141
第4章	纳米材料绿色油墨	145
4.1	纳米油墨的组成	146
4.2	纳米油墨的特点	147
4.3	填料型纳米油墨	149
4.3.1	纳米 TiO_2 在油墨中的应用	149
4.3.2	纳米 SiO_2 在油墨中的应用	150

4.3.3	纳米 CaCO_3 在油墨中的应用	151
4.4	功能性纳米油墨	153
4.4.1	纳米磁性油墨	153
4.4.2	纳米光学油墨	154
4.4.3	纳米导电油墨	158
4.4.4	其他功能性油墨	179
4.5	小结	180
	参考文献	182
第 5 章	纳米印刷电子	185
5.1	印刷电子简介	185
5.2	印刷电子制造工艺与制备技术	187
5.2.1	印刷电子制造技术	187
5.2.2	印前/印后处理工艺	190
5.3	纳米印刷电子的应用	192
5.3.1	RFID 天线	193
5.3.2	柔性晶体管	195
5.3.3	透明导电膜	199
5.3.4	可穿戴传感器	201
5.3.5	微纳电子电路	207
5.4	纳米印刷电子的发展	209
5.4.1	纳米印刷电子前沿研究	209
5.4.2	纳米印刷电子产业发展趋势及路线图	216
5.5	小结	217
	参考文献	217
第 6 章	纳米印刷光子	220
6.1	太阳能电池	221
6.2	显示技术	228
6.2.1	液晶显示	228
6.2.2	发光二极管	231
6.2.3	结构色显示	237
6.3	传感与检测	241
6.4	防伪与安全	244
6.5	光电检测器	247
6.6	光波导系统	249
6.7	光子晶体器件	251

6.8 小结	258
参考文献	259
第7章 3D 打印印刷	263
7.1 3D 打印技术简介	263
7.2 3D 打印成型工艺	265
7.2.1 立体光固化成型	265
7.2.2 喷墨打印溶剂挥发固化	267
7.2.3 环境沉积固化直写技术	269
7.2.4 选择激光烧结	273
7.3 3D 打印增材制造应用	276
7.3.1 机械制造加工	276
7.3.2 生物医学领域的应用	278
7.3.3 新型微电子器件	288
7.3.4 储能电源	292
7.4 3D 打印发展的技术问题与潜在社会问题	294
7.5 响应性材料 4D 打印制造技术	296
7.5.1 4D 打印的概念和制造技术	296
7.5.2 4D 打印技术的潜在问题	300
参考文献	301
索引	303



印刷术是我国古代四大发明之一，对人类文明和社会进步做出了巨大的贡献^[1]。世界的发展离不开印刷技术的推动，同样，印刷技术也由于材料科学、物理、化学、光机电及信息科技等的积极推动，在印刷材料、印刷机械、数字化流程、印前系统及印刷工艺等领域发生着深层次、全面系统的技术创新和工艺变革，实现了在纸质出版、包装等领域为人们呈现高品质、形式多样的精美印刷品；同时，印刷技术的创新，特别是纳米材料与印刷技术的融合创新，为印刷产业的绿色发展提供了新的发展方式，使得印刷电子、印刷光子、3D 印刷等新兴领域呈现出巨大的应用前景和重要价值，成为当今国际印刷领域新的研发热点和发展机遇，为印刷产业注入了新的发展活力和动力；数字印刷技术的崛起，尤其是静电数字印刷机、喷墨数字印刷机的快速发展和应用，加快了印刷行业的数字化、智能化进程。在上述新兴科技的共同推动下，印刷技术正经历新一轮的技术创新和产业变革。

印刷与人们的生活息息相关。在日常生活中，随处可见的书刊、衣服图案、包装盒、标签等都属于印刷品的范畴。虽然人们对印刷品非常熟悉，但是大多数人却对印刷及其涉及的技术、材料、工艺、设备等并不了解。经过不断完善和发展，印刷在我国国家标准《印刷技术术语 第1部分：基本术语》(GB/T 9851.1—2008)中已有明确定义^[2]：使用模拟或数字的图像载体将呈色剂/色料(如油墨)转移到承印物上的复制过程。与普通意义上的打印、复印不同，印刷是一种具有大面积复制能力的图案化技术。印刷品的制作流程一般包括印前、印刷、印后三个阶段，其中印前阶段是通过制版工艺将文字、线条及图像等原稿信息转印到印版(印刷版材)上，完成印版的制作；印刷阶段是通过印刷设备等手段将印版上的图文信息，转移到纸张、塑料等承印物上；印后阶段通过裁切、上光、覆膜、装订等后续工艺，将承印物按照要求处理，最终完成印刷品的制作。

就印刷技术的发展来说，在上述整个印刷环节中最为关键的技术是印前阶段的制版技术。例如，被誉为第一次印刷技术革命的活字印刷术和第二次印刷技术革命的汉字激光照排技术，都是因制版技术而引发的印刷业重要变革。由此可见，

制版技术在印刷技术的发展历史进程中具有举足轻重的地位。制版技术是利用制版设备实现数字化图文信息转移到印版上的技术。从制版原理及材料的角度来划分,印刷技术的发展主要为四个阶段:第一,以雕版印刷术和活字印刷术为代表的物理成像制版方式;第二,以照相制版术、激光照排技术、计算机直接制版技术(基于曝光原理)为代表的传统感光成像印刷技术;第三,以静电数字技术、喷墨数字技术为代表的无需制版的数字印刷技术;第四,以纳米材料绿色制版技术为代表开展研究的绿色印刷技术。本章将概述印刷技术的现状及未来发展。

1.1 基于物理成像的印刷技术

我国的印刷术起源于雕版印刷术^[3],它是最早的基于物理成像的印刷技术,发明于隋末唐初,并兴盛于宋代。雕版印刷术是将文字、图像反向雕刻于木板等材质上,再于印版上刷墨、铺纸、施压,使印版上的图文转印于纸张等承印物的工艺技术。在古代,雕版印刷又称版刻、梓行、雕印等。在当时的历史条件下,雕版印刷术的发明,使文件的批量制作成为现实,并且它利于妥善保管,可实现多次印刷,并经久耐用。这在当时对知识信息的传播和文化影响的拓展是极其有利的。图 1-1 为陈列的木雕版印刷及印刷品展示。经历千余年的创新与发展,雕版印刷工艺^[4,5]从单版发展到多版、从单色发展到多色,印刷工艺不断丰富和成熟,在世界文化的传播和发展中做出了不朽的贡献。2006 年,雕版印刷工艺经国务院批准列入国家级非物质文化遗产名录。



图 1-1 木雕版印刷(a)及木雕版印刷品(b)

雕版印刷也具有自身不可克服的缺点，它的工艺极其复杂，从备料到雕版、刷印、套色，直至装帧，包含二十多道工序，严重限制了信息的多样化和快速传播。北宋庆历年间(1041—1048年)^[6]，为了克服雕版印刷的弱点，雕印工匠毕昇发明了活字印刷术，将整版刻字的方法改为单独刻字，使效率成倍提升，成为印刷史上一项划时代的伟大发明，并奠定了现代印刷技术的基础。他是世界上第一个发明活字印刷术的人，比德国的谷登堡要早约400年。关于毕昇的胶泥活字印刷，沈括在《梦溪笔谈·卷十八·技艺》中有详细的记载。

活字印刷术的历史发展时期很长，一直延续使用到20世纪中后期，主要经历了泥活字(图1-2)、木活字和铜、锡、铅等金属活字的多个时期的演变和发展。无论材料如何变化，活字印刷术的核心工艺并没有多大变化，都是预先制成单个活字，每次印刷时再按照文字要求，捡出所需要的字模，排版后再印刷。我国在西夏、元代、明清等不同时期均有活字印刷品流传。



图 1-2 泥活字

铅活字印刷术在活字印刷史上具有特殊的地位。据现有史料记载，我国在明弘治末至正德年间(1505—1508年)就已经采用铅活字排印书籍。但由于雕版印刷术在我国使用较为成熟，以及受社会环境的影响，包括铅活字在内的多种活字印刷术很长时期内在我国并没有推广起来。15世纪中叶，德国人谷登堡对铅活字的材料和工艺进行了改进，使铅活字印刷术在欧洲逐渐得到推广，并于19世纪初传入我国后才逐渐大量应用。谷登堡对于铅活字印刷术的贡献主要是使用金属(铅、锡、锑)作为活字铸造材料，确定了三者的配比；改制出世界上第一台印刷机，实现机械化；将水性油墨改为油性墨。直到20世纪中期，铅活字印刷还被广泛用于我国社会各种印刷品的印制。

我国的活字印刷术为世界文化的发展做出了重大贡献，它的广泛传播对世界科学文化的发展产生了重大作用和积极影响。

1.2 基于感光材料发展的印刷技术

1.2.1 感光材料的出现

感光材料是指一种见光或接受光信息会发生结构性能变化，经化学或物理加工处理后能获得固定影像的材料。1727年，德国 Schulze 发现了 AgNO_3 的感光性能，开启了人类对感光材料的认识和研究^[7]。感光材料最早被应用于感光照相技术。1839年，英国科学家塔博特(H.F.Talbot)发明了负像照相技术，它是通过将浸有 AgI 的纸曝光后，经 AgNO_3 和没食子酸显影， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 定影后，得到一张负像，再涂上蜡作为底片，翻拍后得到多张正像照片^[7]。该技术开创了现代照相的先河，塔博特也被后人称为现代照相之父。照相技术的发明，不仅为人类提供了记录影像的新方式，而且也引发了印刷行业的技术进步，出现了照相制版技术。

照相制版技术是近代印刷技术的重要代表。它是照相技术应用于印刷制版行业而产生的新技术。照相制版技术的出现，宣告以感光成像为原理的近代印刷技术时代的到来，也促使印刷业从单一的雕版印刷技术发展为凸版、平版、凹版、孔版等多种印刷技术共存的繁荣景象，并一直持续到现在。

1.2.2 照相制版技术

照相制版技术是利用制版照相机，通过光学摄影成像原理，将原稿上的图像经过分色、加网后曝光于感光材料上，经后处理(显影、定影)得到加网后的阴图底片或阳图底片，然后将底片覆盖在涂有感光层的版材上进行曝光，得到不同印刷方式的印版。

由于印刷品不能(仅仅)依靠着墨层厚薄表现出连续变化的浓淡层次，因此必须将原稿转化成以网点构成的网目调图像，才能制作成印版，实现印刷。照相制版工艺中，网屏就是完成这一转化的工具，其作用是将由连续调变化的浓淡层次构成的画面分割成大小不同的网点。照相制版技术在印刷业中获得应用后，经历了由玻璃网屏发展到接触网屏、由间接加网方式发展到直接加网方式的进步。我国照相制版技术很长时间内都是以间接分色加网技术为主，直到20世纪70年代，直接分色加网技术才推广起来。

间接分色加网^[8]是将分色和照相加网分开进行，称为“两步法”。首先将原稿信息分色成连续调的阴图片，再用接触网屏翻拍成网点阳图片。由于图像在间接分色加网制版转移过程中，细节损失较多，因此，修版是照相制版技术的关键步骤，但当时的修版很长时间内完全依赖于修版师傅的技艺，操作复杂，修版时间较长，效率低。

直接分色加网^[8]是分色和加网一次完成,称为“一步法”,即在分色的同时利用接触网屏把原稿信息直接记录在分色片上。虽然直接分色加网工艺相比间接分色加网工艺,减少了制版流程,改善了图像的清晰度,一定程度上提高了制版质量;但它要求分色前必须制作标准化的蒙版系统,对操作人员要求较高,且不利于修改。随着20世纪电子计算机的兴起和快速应用,照相制版技术很快受到冲击,新发展的彩色桌面出版系统因其灵活、高效及可视性等诸多优势很快发展为印前图文信息处理的主要工具。

1.2.3 彩色复制技术

彩色复制技术的突破和发展,对于印刷技术应用于彩色印刷品的复制具有重要的推动作用。18世纪以前,基于手工雕刻印刷技术,人类不能轻易地实现对彩色印刷品的大量复制。随着对光的理解不断深入,颜色科学逐渐形成理论,并被应用到印刷行业,从而推动了彩色图像印刷复制技术的进步。

颜色是光作用于人眼之后引起的除形象以外的视觉特征;颜色依赖于光、人眼及物体本身,它既是一种视觉现象,又是一种光学现象。颜色的基本要素包括光源、物体及视觉系统。其中,光是物体颜色显现的先决条件,无光便无色。光是一种电磁波辐射,但并不是所有的电磁波辐射都能够引起人的视觉反应,只有可见光能够刺激人眼而被识别。可见光的波长范围为380~780 nm,在这个范围内人眼可识别由红到紫的各种光。当同样波长的光照射到不同的物体上时,会发现不同的物体呈现出不同的颜色,这是因为物体色彩的形成在于物与光的相互作用。当一束复色光照在物体表面时,某些波长的光被选择性吸收,另一部分光则发生反射或透射,这样人们所看到的色彩就是从物体表面反射或透射出的单色光的集合,从而产生了不同的色彩刺激。同样,人的眼睛(视觉系统)对于颜色的识别非常重要。关于颜色视觉的形成理论,在18世纪产生的扬-赫姆霍尔兹三色学说和赫林的对立色理论学说基础上,已发展出了现代比较完善的阶段学说^[9]:证实人眼的视网膜上确实存在感红、感绿、感蓝三种视锥细胞,当光线刺激人眼视网膜时,三种视锥细胞分别选择吸收不同的光波;同时,三种视觉信息在由锥体细胞向视神经细胞传递过程中,重新组合形成三对对立性的神经反应,即红-绿、黑-白、黄-蓝反应。该学说很好地解释了颜色的混合、补色、色盲等现象,为印刷色彩学的建立奠定了理论基础。

1. 颜色的混合原理

光是可以混合和分解的,不同波长和比例的单色光可以混合到一起,形成复色光;复色光可以分解成多种单色光。由光的特性所决定,色彩也可以进行自由混合。色彩的混合有两种形式:加色混合和减色混合。