

# 彩色喷墨打印纸涂层涂料及涂布、压光工艺的研究进展

姚娜, 丁大永, 刘忠, 张正健

(中国轻工业造纸与生物质精炼重点实验室, 天津市制浆造纸重点实验室,  
天津科技大学轻工科学与工程学院, 天津 300457)

**摘要:**随着科技的发展和人们生活水平的日益提高,彩色喷墨打印技术已得到了广泛应用。彩色喷墨打印纸是彩色喷墨打印的主要载体,其涂层结构和表面性能在很大程度上决定了印刷质量,而这主要取决于涂料质量和涂布及压光工艺。本文介绍了彩色喷墨打印纸常用涂布颜料、胶黏剂及其他助剂的性质及特点,并对彩色喷墨打印纸主要生产工艺的涂布和压光进行探讨。未来,涂布液趋向于“高浓低黏”,以适应现代高速涂布机,涂布工艺将向低涂布量、高精度、多功能性方向发展;开发具备高清、高精度、高色彩还原性及优异耐光、抗水、耐介质腐蚀性的彩喷纸涂层涂料,以满足特殊用途需求,仍是该领域的前沿课题;改进涂料及工艺以提升彩喷纸环保性是重要方向,研发脱墨性能好的涂料及配套工艺,能提升回收利用率并降低成本。

**关键词:**彩色喷墨打印;纸张;颜料;胶黏剂;涂布;压光

彩色喷墨打印可用普通办公用纸或专用彩喷纸进行打印,普通办公用纸一般指的是未经过涂料涂布处理,直接在原纸表面进行打印的纸;喷墨打印专用纸是指表面经过特定的涂料涂布处理,增加纸张表面吸墨性能和色彩清晰度的专门用于彩色打印的纸张,打印效果远高于普通打印纸。专用纸按纸张表面光泽度可分为哑光、高光和相片级打印纸。彩色喷墨打印纸作为特种涂布纸,影响其打印效果的除了原纸质量外,涂层的涂料配方也是关键性因素。涂料主要是由微米级颗粒状的白色颜料,黏度高、流动性好的胶黏剂和提高涂料性能的助剂组成。

## 1 彩喷纸涂层涂料

### 1.1 颜料

颜料是涂料的主要成分之一。选用优质的白色颜料,不仅可以提高纸张对油墨的吸收性,也可以提高涂布纸的白度、不透明度和光泽度等光学性能指标。高品质的颜料应具备以下特性:白度高、

分散性好、不易团聚、粒径均匀且分布集中、杂质含量低且化学性质稳定。目前,常用白色颜料主要有二氧化硅、二氧化钛、轻钙、高岭土、合成硅酸盐及高分子聚合物树脂。在实际应用中,一般采用多种白色颜料复配使用,从而获得最佳的纸张性能。

#### 1.1.1 二氧化硅

目前,二氧化硅是在喷墨打印纸涂料配方中应用最广泛的一种白色颜料。由于二氧化硅颜料具有颗粒粒径小、比表面积大、吸油量高、多孔等特点,成为喷墨打印纸涂料的首选颜料。根据生产工艺不同,二氧化硅可分为沉淀二氧化硅、气相二氧化硅和胶体二氧化硅,具体见表1。

张勇等<sup>[1]</sup>研究了不同比表面积的气相二氧化硅,不同聚合度、醇解度的聚乙烯醇(PVA)和不同种类与用量的交联剂对喷墨打印纸涂层性能和喷墨打印效果的影响。结果表明:随着气相二氧化硅比表面积的增加,纸张喷墨打印的色密度和色域均呈现先增加后减少的趋势,并且在气相二氧化硅比

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC2105503)

作者简介:姚娜(1998—),硕士研究生;通信作者:丁大永,副教授,ddyong2019@tust.edu.cn;刘忠,教授,mglz@tust.edu.cn。

表面积为200 m<sup>2</sup>/g时的打印效果最好;当涂料中PVA聚合度相同时,使用低醇解度PVA时的打印色彩清

晰度更好;对比了硼酸和戊二醇两种交联剂,使用2%的硼酸可使涂料具有较高的稳定性和可控性。

表1 二氧化硅主要分类及特点

分类	反应环境	原料	主要技术指标	应用领域
沉淀二氧化硅	液相碱性条件	硅酸钠、硫酸	纯度>98%,含水率4%~8%,比表面积50~250 m <sup>2</sup> /g	橡胶、轮胎、涂料、制鞋以及牙膏等行业
胶体二氧化硅	液相酸性条件	硅酸钠、硫酸	纯度>98%,含水率4%~8%,比表面积250~990 m <sup>2</sup> /g	塑料涂料、金属防腐高纯保温隔热材料、电池涂覆板等新兴领域
气相二氧化硅	在气固相中进行高温燃烧反应	四氯化硅、氢气、氧气	纯度>99.8%,含水率<1%,纳米级二氧化硅	有机硅、涂料、油墨等专用领域

王焕美等<sup>[2]</sup>研究了不同配比的沉淀二氧化硅和胶体二氧化硅对彩色喷墨打印纸纸张物理性能、喷墨打印质量和涂层吸收性的影响。结果表明:当胶体二氧化硅和纳米二氧化硅的质量比为40:60时,纸张表面涂层具有较好的微孔隙结构,并且表现出优秀的动态渗透性和印刷性能。

赵恬等<sup>[3]</sup>制备了具有不同沉淀二氧化硅和瓷土比例的四种涂料,探究了配方和压光压力对纸张表面性能和喷墨打印效果的影响。结果表明:在相同配方下,压力越大,喷墨打印效果越好;在二氧化硅与瓷土的质量比为80:20、压力为80 N/mm时,纸张平滑度最大,色密度、色域面积和清晰度也最高。

### 1.1.2 沸石

沸石是硅酸盐和铝酸盐四面体的三维网络结构,分子间主要通过氧原子连接在一起。在自然界中存在许多具有不同特性的天然沸石种类。天然沸石很难被直接应用,人工合成的沸石性质均一,其作为填料可以改善涂布纸表面性能和印刷适性,因而作为填料和涂料组分被用于多种纸张中。

OZCAN等<sup>[4]</sup>分别以碳酸钙、高岭土和沸石为主要颜料制备涂料,在定量为80 g/m<sup>2</sup>的涂布美术印刷纸上进行涂布,纸张经过超级压光后用于喷墨打印。实验表明:无论是不透明度、粗糙度、光泽度等表面涂层性能,还是可回收性能,使用沸石的涂层均明显优于碳酸钙和高岭土等作为颜料的涂层。ARIF等<sup>[5]</sup>选用沉淀碳酸钙、沸石、高岭土为颜料,以丁苯胶乳和聚乙烯醇为胶黏剂制备涂料,对压光和非压光涂布纸的物理性能和喷墨打印性能进行对比。结果表明:涂布颜料类型对印刷质量有较大影响,选用沸石作为颜料的涂布纸色域范围最广;涂布纸经压光处理后的印刷性能优于未经压光处理。

### 1.1.3 碳酸钙

碳酸钙是一种价格便宜的无机化合物,其作为

涂料中的主要颜料之一,可以提高涂布纸的白度、不透明度和吸墨性等性能,化学式为CaCO<sub>3</sub>,其晶型结构主要包括方解石型、文石型和水合石型3种<sup>[6]</sup>。碳酸钙来源丰富,价格便宜,具有良好的加工性能,被广泛应用于建筑、纸张、塑料等化工行业。在涂布纸生产中,碳酸钙往往与其他颜料共同使用以优化使用效果。恰当的配比能显著增强纸张的白度、遮盖力及印刷性能。纳米级碳酸钙具有卓越的流动特性,进一步提高了涂料浓度,从而推动了碳酸钙在涂布应用中的价值提升。

王焕美等<sup>[7]</sup>分别用四种具有不同形貌的碳酸钙配制涂料,研究了不同碳酸钙涂层的纸张物理性能、渗透性和喷墨打印性能。结果表明:以羧甲基纤维素作为分散剂可以制备出粒径均匀的球形碳酸钙颜料;使用纺锤状碳酸钙颜料的涂布纸平滑度、光泽度最好;使用球形碳酸钙颜料则可以有效提高涂布纸的渗透性、喷墨打印实地密度和墨点圆度。

### 1.1.4 瓷土

瓷土又称“白土”或“高岭土”,主要由Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和SiO<sub>2</sub>组成,外表呈现片状结构,涂布覆盖率高,可以提高涂布纸平滑度和光泽度<sup>[8]</sup>。瓷土是目前涂布纸所用的主要白色颜料,一般占涂料颜料比例的60%~80%,其在水中易分散,可以改善涂布颜料的流动性和保水能力;但是,在配制涂料过程中,为了确保涂料的流动性,应控制悬浮液的pH值在9~11范围。

王岩等<sup>[9]</sup>研究了使用改性高岭土代替二氧化硅对喷墨打印纸主要性能的影响。结果表明:使用改性高岭土可以明显提高涂料的流变性和固含量;并且,当在改性高岭土中加入一定量的阳离子固色剂后,喷墨打印色密度得到了很大提升,可以达到商品喷墨打印纸的效果。

### 1.1.5 氧化铝

氧化铝为白色无定形粉末,具有许多晶型,主

要有 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 三种类型。氧化铝的相对密度为3.9~4.0,是最典型的两性氧化物,由其制得的颜料颗粒细小,比表面积高,具有很高的孔隙结构,对水性油墨的吸收速度快,并且能够快速干燥,非常适用于彩色喷墨打印纸。但是,氧化铝颗粒表面呈负电性,导致其在涂料中的分散性差,而且与涂料中其他组分的相容性也差。

张丽惠等<sup>[10]</sup>使用氧化铝粉颜料、胶黏剂聚乙烯醇、硅氧烷助剂等制备喷墨数码相纸涂料,研究加入不同种类的酸性溶液制备的氧化铝分散液和加入不同含量的硅氧烷助剂对喷墨数码相纸光泽度与吸墨性的影响。结果表明:用硝酸制备的氧化铝分散液粒径小,分布峰宽较窄,对纸张表面光泽度的提升最大,光泽度可达到47.5%;随着硅氧烷助剂的加入,纸张表面光泽度也在不断增加。

目前,二氧化硅和氧化铝作为喷墨打印纸中使用最广泛的颜料,具有良好的耐光、耐水性,而且吸墨层质地较硬,打印后表面无痕,墨水干燥速度快。但是,在制备涂料过程中应注意颜料的分散,防止颜料发生絮凝和团聚,影响涂料的稳定性。随着消费者对打印效果要求的提高和环保健康的重视,涂

布颜料采用纳米技术和环保技术是未来的发展趋势。

## 1.2 胶黏剂

胶黏剂是决定涂料质量的第二大影响因素,一般情况下其质量占涂料的10%~25%,涂料的黏度、流变性和固化时间等特性在很大程度上取决于胶黏剂的性能。胶黏剂作为一种胶体保护剂可以将颜料和颜料、颜料和原纸完全黏结在一起,并影响打印过程中涂布纸对油墨的吸收性。

### 1.2.1 淀粉胶黏剂

将淀粉作为涂布纸胶黏剂始于20世纪初,伴随着机内涂布技术的进步和成本的降低,其很快成为造纸涂料配方中的一种关键胶黏剂。淀粉胶黏剂主要可以分为两大类:天然淀粉胶黏剂和改性淀粉胶黏剂。天然淀粉胶黏剂的黏度高,化学性质不稳定,易老化,不适合直接用作涂料的胶黏剂。另外,直链淀粉比支链淀粉的黏结力更强,因此不能用于制备高固含量的涂料。对淀粉进行改性可提高其耐水性、分散性和黏结性等性能,且成本降低,应用前景广阔。涂布纸涂料常用淀粉可分为以下几类:交联酯化淀粉、酯化氧化淀粉、氧化淀粉和接枝淀粉<sup>[11]</sup>,不同改性淀粉特点及其应用如表2所示。

表2 不同改性淀粉的特点和应用

改性方式	化学反应	特点	应用领域	文献
交联反应	化学试剂使淀粉的羟基形成醚键或酯键而交联	对酸、热和剪切力具有更高的耐受性	食品、制药、废水处理、包装	[12]
酯化反应	羧酸、脂肪酸或磷酸盐与淀粉的活性羟基的缩合	糊化温度低,乳化性能好,透明度高	食品、纺织、纸制品	[13]
氧化反应	用各种氧化剂氧化淀粉的葡萄糖单位的一级或二级羟基,形成羰基或羧基	黏度低,透明度高,低温稳定性好	食品、糖果乳化剂、纸制品	[14]
接枝反应	丙烯酸单体通过不同自由基引发剂产生的自由基接枝到淀粉上	黏度高,热稳定性好,可生物降解	化妆品、制药、农业生产、废水处理等	[15]

刘全祖等<sup>[16]</sup>使用纳米纤维素来提高马铃薯淀粉的羧基含量和交联度,制备了氧化交联马铃薯淀粉,并用于取代部分丁苯胶乳,研究其对涂料和涂布美术印刷纸性能的影响。结果表明:涂料的黏度随着改性淀粉用量的增加而提高,添加一定量纳米纤维素(NCC)的改性淀粉作为涂料胶黏剂,获得的涂布纸的平滑度、表面强度、抗水性等都优于采用全丁苯胶乳涂料的涂布纸。

### 1.2.2 生物胶乳

作为一种新型胶黏剂,生物胶乳的主体原料为各种生物质<sup>[17]</sup>,属于可再生资源,价格较低,由于其优良的性能,可以取代部分合成胶黏剂。制备生物胶乳的关键在于用生物质、增塑剂和 $\text{TiO}_2$ 等制备出

微纳米颗粒,微小的粒径可以带来较大的比表面积,可以制成高浓度、低黏度的涂料,降低了涂布纸的干燥速度和生产成本。

邹娟等<sup>[18]</sup>分别在底涂和面涂涂料配方中加入不同比例的生物胶乳,经过相同涂布方式涂布后,检测纸张的白度、粗糙度、光泽度和油墨吸收性等。结果表明:加入生物胶乳可以有效提高涂布纸的白度、粗糙度和光泽度等性能,并且当生物胶乳在底涂涂料胶黏剂中的占比为60%、在面涂涂料胶黏剂的占比为40%时,涂布纸张的性能最佳。

王红军等<sup>[19]</sup>使用纳米二氧化硅作为主体颜料,研究了在涂料层加入不同用量生物胶乳对彩色喷墨打印纸墨水干燥速度的影响。结果表明:在相同的

实验条件下,随着生物胶乳添加量的提高,墨水干燥速度显著提高。这是因为生物胶乳以胶体颗粒形态分散于水溶液中而能形成稳定的胶乳分散体系,有效增加了空隙率进而提高了其墨水的干燥速度。

### 1.2.3 合成胶黏剂

目前,使用较多的合成胶黏剂有丁苯胶乳和聚醋酸乙烯酯胶乳(PVAc)。丁苯胶乳存在稳定性差、价格昂贵、所生产涂料的保水性差等问题。因此,应在丁烯与苯乙烯的聚合过程中引入其他官能团,以改善涂料性能,例如加入丙烯酸、异丁烯酸、聚丙烯酸及其他酯类和胺类化合物。尤其是引入羧基能使胶乳具有特殊性能,从而形成活性胶乳。

乙烯-醋酸乙烯共聚乳液(EVA乳液)是由醋酸乙烯与乙烯通过自由基聚合反应生成的共聚物乳液<sup>[20]</sup>,作为一种新型环保胶黏剂,其展现出卓越的黏结特性,并对油墨表现出良好的兼容性。在EVA乳液聚合的过程中,除了要选择乳化剂之外,通常还会选择聚乙烯醇作为保护成分。EVA乳液因其持久的柔韧性、耐水性、低温耐受性、快速的黏结速度、高黏结强度以及使用过程中的安全性和无毒性等特点,经常被用作涂料黏合剂。

张岩等<sup>[21]</sup>通过用不同配比的EVA乳液和PVA组成的胶黏剂,制备出具有不同表面涂层性能的喷墨打印纸,并测试了不同配方涂布纸张的油墨扩散情况、渗透性和吸收性。结果表明:当单独使用PVA或EVA乳液时,纸张的油墨扩散和渗透程度都很严重,当将两者以适当的比例复配使用时,油墨扩散程度和渗透情况都可以得到有效控制,并且当EVA乳液与PVA的质量比为6:4时,品红油墨在实验涂布纸上的渗透最少,色密度和色域面积最大。

### 1.2.4 复合胶黏剂

当将两种或两种以上的聚合物以特定方式组合成新材料时,可以得到不同于原始聚合物聚集状态的新物质。这种组合方式可以通过共混改性来优化已有聚合物的性能,不仅能实现不同组分性能的互补,而且还可以实现单一成分所不具备的独特性能。

王世泰等<sup>[22]</sup>使用3种胶黏剂制备复合胶黏剂,考察各因素对复合胶黏剂剪切和拉伸强度的影响,并将胶黏剂用于纸张涂布,测试了纸张物理性能。结果表明:水性聚氨酯乳液是影响胶黏剂黏结力的主要因素,但加入后会降低涂层的平滑度;羧基丁苯胶乳(PC-18)为次要因素,且具有较好的耐水和

耐磨性,与其他黏合剂的亲和性好,价格便宜,可大量使用;随着干酪素用量增加,胶黏剂的黏结强度增大,但由于其价格昂贵,用量一般不大。复合胶黏剂的制造过程无污染,使用方便,稳定性好;涂料中的复合胶黏剂用量少,涂料性能好,经济效益明显。

目前,使用的胶黏剂多为石油基胶黏剂,其不可被生物降解,部分还含有可挥发的有毒有机溶剂,属于不可持续发展材料;生物质胶黏剂具有较好的黏结性能和生物降解性,但黏结性低、耐水性差、制备工艺繁琐。随着人们环保意识的增强和对高性能胶黏剂的需求增多,未来应加大对生物质胶黏剂的研究,其有望部分或全部取代石油基胶黏剂。

## 1.3 常用助剂

### 1.3.1 分散剂

分散剂的主要功能是显著增强颗粒间的相互排斥作用,避免涂料中的颜料凝聚,从而增强涂料的表面张力。分散剂主要分为无机类分散剂、有机类分散剂和高分子类分散剂,有机类又可分为阴离子型、非离子型和阳离子型分散剂。常见的无机类分散剂有聚磷酸盐类、硅酸盐;常用有机类分散剂有羧酸盐、烷基芳基磺酸盐、脂肪醇聚氧乙烯醚等;高分子型分散剂最为常见,稳定性也最佳,常见的高分子型分散剂有聚羧酸盐、硅烷共聚物、聚丙烯酸衍生物和聚氨酯等。

高秀芳等<sup>[23]</sup>在涂料中使用高分子型分散剂硅烷共聚物,研究其对分散液稳定性、颜料颗粒粒径及粒径分布的影响。结果表明:加入一定量的硅烷共聚物可以明显提高分散液的稳定性,随着分散剂用量的增加,涂布层的吸墨速度逐渐加快,吸墨能力有所提高。

BAI等<sup>[24]</sup>以苯乙烯磺酸钠、聚乙二醇单甲醚丙烯酸酯和丙烯酸二甲氨基乙酯为原料制备了分散剂。结果表明:所制备的分散剂可以显著降低CaCO<sub>3</sub>浆液的黏度和粒径,用其制备的水性涂料具有良好的贮存稳定性和耐腐蚀性能。

### 1.3.2 消泡剂

人们普遍认为,化学消泡剂是通过破坏泡沫内部气泡周围的液体膜来起作用的。首先,消泡剂从界面上取代表面活性化合物,从而阻止其稳定泡沫,消泡剂在界面之间形成疏水“桥”,导致液体薄膜破裂,泡沫坍塌<sup>[25]</sup>。消泡剂不会挥发,使用消泡剂可能会对涂布纸的纸张性能产生影响。常用消泡剂主

要分为有机硅类、醇类和醚类。有机硅消泡剂一般经过乳化工艺处理,可广泛适用于水相和油相<sup>[26]</sup>。

徐媚<sup>[27]</sup>经过两相转化法,在复合乳化剂的作用下,制得新型有机硅类消泡剂。相比于市售消泡剂,新型消泡剂的消泡时间更短,表面张力更低,可以提高与涂料的相容性,且产生的润湿缺陷更少。

### 1.3.3 阳离子固色剂

聚乙烯亚胺、聚乙烯胺、含季铵盐的聚丙烯酸或聚二甲基二烯丙基氯化铵等可作为固色剂用于提高喷墨打印的效果。在印刷过程中,染料墨水中的着色剂以单分子形式完全溶解在墨水中,纸张表面和着色剂之间的相互作用是决定印刷质量的一个重要因素。固色剂的作用机理是阴离子染料分子被阳离子固色剂分子<sup>[28]</sup>迅速固定到具有高比表面积颜料表面上,从而使着色剂被固定在承印物表面。

王立成等<sup>[29]</sup>选用3种常用的阳离子固色剂,分别配制涂料,在相同涂布和压光工艺下,研究了不同固色剂对纸张物理性能和打印性能的影响。结果表明:当以聚二甲基二烯丙基氯化铵为固色剂、添加量为绝干颜料质量的5%、涂料固含量为24%时,可以明显改善涂布纸喷墨打印的效果和防水性。

李智斌等<sup>[30]</sup>制备了聚胺类阳离子固色剂,在涂料黏度和沉降性能,涂布纸彩色打印效果、防水性、成本等方面与普通固色剂进行比较。结果表明:使用高聚合度的聚胺类固色剂可以有效防止分散液沉降,防止洇色,提高实地密度。

### 1.3.4 其他助剂

为了提高涂料的稳定性及涂布纸的性能,还需要加入其他助剂来使涂料满足要求,如用于改善涂料性能的保水剂、流变剂、减黏剂等;用于改善涂布纸性能的增白剂、抗水剂、抗老化剂等。

董栓等<sup>[31]</sup>对比了聚酰胺脲醛树脂(PAPU)、碳酸锆盐和改性乙二醛这3种典型抗水剂对涂布纸的防水性能和印刷性能的影响。结果表明:对于改善抗水性能用改性乙二醛的效果最好,随着抗水剂的增加,涂布纸的油墨吸收性均有所降低,添加0.9份PAPU时的油墨吸收性最小。

## 2 涂布及压光工艺

### 2.1 涂布工艺

涂布技术因不同产品的需要而发展出多样化的形式,总体上可分为湿法涂布和干法涂布两大类

别。在湿法涂布中,又可细分为接触式与非接触式两种。接触式涂布的常见形式包括浸渍涂布、气刀涂布、刮刀涂布、辊式涂布等;非接触式涂布则包括落帘涂布、狭缝涂布、挤压涂布等。

为了达到所要求的涂层性能,可采用一次或多次涂布的工艺,也可采用多种涂料、多层涂布的方式来进行。多层涂布一般包括底涂、面涂和背涂:底涂可以改善涂布纸的平整度;面涂是在底涂的基础上提高了涂料的覆盖率,从而改善印刷适应性<sup>[32]</sup>;背涂可以防止纸张卷曲不平,提高纸张的平整度。为了控制成本,彩色喷墨打印纸的涂层不仅要求吸墨性好,而且涂布量不宜过高,可用刮刀涂布、帘式涂布、喷雾涂布等方式进行。

#### 2.1.1 刮刀涂布

刮刀涂布是最常见的涂布工艺之一,其先在原纸上施加过量的涂层,然后用刮刀计量除去多余的涂层,以达到所要求的涂布量。采用刮刀涂布,可以在高速涂布过程中获得高剪切速率,将涂布液剪切至低黏度涂布液。相对于非接触涂布,这是一种直接涂布方法,涂层有较高的平整度,其涂层表面不受被涂支持体原有表面粗糙度的影响。但在使用过程中需要及时更换刮刀和保持刮刀清洁。

韩雨彤等<sup>[33]</sup>研究了辊式涂布和刮刀涂布两种涂布方式对纸张物理性能和喷墨打印性能的影响。结果表明:辊式涂布需要根据不同要求选择不同涂布条件,在计量棒压力为40 N时可以取得较好的效果;使用刮刀涂布时,在相同条件下刮刀压力和角度越小,得到彩喷纸的性能越好,实验涂布纸在刮刀压力为10 N、角度为30°时的效果最好。两种涂布方式相比,刮刀涂布更细致,辊式操作更方便。

#### 2.1.2 帘式涂布

在帘式涂布过程中,涂料自由落体成幕帘以锐角撞击基材,在基材表面展开,形成均匀的涂层<sup>[34]</sup>。相比于传统接触式涂布工艺,帘式涂布可以适用于不同黏度和固含量的涂料,具有涂布速度快、涂膜均匀性好、涂布幅面广等特点,代表了湿法涂布的未来发展方向。例如,福伊特公司生产的帘式涂布机幅宽可达5 m,运行速度可达1200 m/min,最大设计速度1500 m/min。帘式涂布的涂料最小流速随着表面张力和密度的降低而降低,随着涂料黏度的增加而增加。但为了保持液帘不断流,就要求有足够的涂布液流量和足够高的涂布速度。

杜艳芬等<sup>[35]</sup>选用二氧化硅为主要颜料,添加绝干颜料质量20%的PVA、12%的固色剂、1.25%的表面活性剂,制备了固含量为20%的涂料,采用帘式涂布进行了涂布测试。结果表明:帘式涂布可以预先控制涂布量,涂布纸的透气度和渗透性明显更加优异,喷墨打印效果也优于进口喷墨打印纸。

### 2.1.3 喷雾涂布

喷雾涂布技术通过可控高压喷雾,在强制气流的作用下,涂料通过喷嘴喷到基材上<sup>[36]</sup>。涂布头与基材不直接接触,有效减少了对基材的损坏,可以适用于各种厚度的涂层。喷雾涂布所用涂布液的黏度较低,液滴直径较小,对液滴的均匀性要求较高,涂布量可调,但涂层厚度和均匀度不易控制。

GE等<sup>[37]</sup>使用串状两亲性纳米二氧化硅颗粒和两亲性溶胶组成的溶液,在各种平面和弯曲基底上进行喷雾涂布实验。实验证明:与其他涂布方式相比,喷雾涂布具有在平面和曲面上大面积快速组装的优点。喷涂膜呈现出三维结构,具有松散的纳米孔,使用喷涂技术使得涂层更致密、更均匀。

## 2.2 压光工艺

压光是纸张加工整饰过程中重要的一个环节,它在一定程度上能改善涂布纸的涂层结构,降低涂布纸的纤维空隙,增强纸张对油墨的吸收性和墨水的分布均匀性,从而提高纸品的喷墨打印质量。在合理的范围内提高压光速度和增加压光次数有利于获得更清晰的打印图案,最佳的压光速度及压光次数的组合对于发挥压光的整饰作用具有重要意义。

卫敏<sup>[38]</sup>研究了压光过程中的速度参数及压光次数对涂布纸打印性能的影响。设置压光速度为7、9、11 m/min,压光次数为0、1、2、3,将每组涂布纸分别在不同条件下进行压光处理,并进行喷墨打印测试。结果表明:在低压力条件下,低速、多次压光可以更好地发挥压光的整饰作用,更好地再现阶调;改变压光速度及次数对涂布打印纸的墨色均匀性影响不明显。

李寒东<sup>[39]</sup>采取硬辊压光、软辊压光和超级压光三种常用的压光方式对涂布纸进行压光,测量了纸张白度、平滑度、渗透性等性能和印刷后的色密度,研究了不同压光方式对涂布纸物理性能和打印性能的影响。结果表明:经过超级压光的涂布纸白度高于硬压光和软压光的涂布纸;超级压光涂布纸的平滑度有较大提升,软压光涂布纸的平滑度稍有提

升,硬压光涂布纸的平滑度基本和原纸相同;超级压光涂布纸涂层的孔隙最小,软压光涂布纸涂层的孔隙最大;超级压光、硬压光涂布纸印刷后的色密度相近且较高,软压光涂布纸印刷后的色密度稍低。

## 3 总结与展望

本文对当前彩色喷墨打印纸涂层成分的选择和涂料的制备进行了介绍,总结了彩喷纸涂层的常用颜料、胶黏剂和涂料助剂。另外,介绍了常见彩喷纸涂布工艺,总结了帘式涂布和喷雾涂布两项新型涂布技术的优势和可行性。随着喷墨打印技术的不断革新,喷墨打印效果日渐完美,同时对彩喷纸的性能要求也越来越高。未来,彩喷纸生产厂商除了继续在完善影像质量、改善彩喷纸保存性、提高生产可行性及降低生产成本方面不断改进外,还应将在以下方面不断探索:

(1)为适应现代涂布机高速运转的需求,涂布液朝着“高浓度、低黏度”的方向发展。随着纳米技术的应用和涂布技术发展,涂布工艺将向低涂布量、高精度和多功能性方向发展。

(2)为了满足诸如珍贵影像留存、文物记录归档等特殊用途的需求,开发具有高清、高精度、高色彩还原性以及优异的耐光、抗水、耐介质腐蚀性的彩喷纸涂层涂料依旧是该领域的前沿课题。

(3)改进涂料及相关工艺,提高其环保性也是重要的发展方向。研发脱墨性能优良的彩喷纸涂料及配套工艺,能显著提升彩喷纸的回收利用率和减少新材料使用量,进而降低生产成本。

### 参考文献:

- [1] 张勇,王杰,胡利建,等.气相法二氧化硅在喷墨打印涂层中的应用研究[J].有机硅材料,2021,35(6):36-40.
- [2] 王焕美,陈蕴智,张正健,等.纳米二氧化硅对喷墨打印纸涂层性能的影响[J].数字印刷,2019(1):88-93.
- [3] 赵恬,徐彦明.二氧化硅/瓷土颜料涂布纸的制备[J].今日印刷,2019(9):68-70.
- [4] OZCAN A, TUTAK D. The effect of zeolite on inkjet coated paper surface properties and deinking[J]. Nordic pulp & paper research journal, 2020, 35(3): 432-439.
- [5] ARIF O, DOGAN T. The effect of paper surface-coating pigments and binders on colour gamut and printing parameters[J]. Coloration technology, 2021, 137(5): 445-455.
- [6] 梁佳正,卢乐民,梁逸昊,等.碳酸钙在造纸行业中的应

- 用及发展趋势[J]. 纸和造纸, 2022, 41(5): 23-29.
- [7] 王焕美, 陈蕴智, 张正健, 等. 不同形貌碳酸钙颜料粒子的制备及在喷墨印刷中的应用[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 106-112.
- [8] 王奇琦, 张凤山, 景宜, 等. 高固含量高岭土分散体系特性的研究[J]. 中国造纸学报, 2014, 29(1): 28-32.
- [9] 王岩. 改性高岭土替代二氧化硅生产低光泽涂布喷墨打印纸[J]. 国际造纸, 2015, 34(6): 33-38.
- [10] 张丽惠, 张嘉锋, 陈思雨, 等. 喷墨数码相纸光泽度提升的技术研究[J]. 信息记录材料, 2023, 24(7): 4-7.
- [11] COMPART J, SINGH A, FETTKE J, et al. Customizing starch properties: a review of starch modifications and their applications[J]. Polymers, 2023, 15(16): 3491.
- [12] AYOUB A S, RIZVI S S H. An overview on the technology of cross-linking of starch for nonfood applications[J]. Journal of plastic film & sheeting, 2009, 25(1): 25-45.
- [13] TIAN S Q, CHEN Y M, CHEN Z C, et al. Preparation and characteristics of starch esters and its effects on dough physicochemical properties[J]. Journal of food quality, 2018, 2018: 1-7.
- [14] FONSECA L M, GONÇALVES J R, HALAL S L M E, et al. Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films[J]. LWT: food science and technology, 2015, 60(2): 714-720.
- [15] CHEN P, XIE F, ZHAO L, et al. Effect of acid hydrolysis on the multi-scale structure change of starch with different amylose content[J]. Food hydrocolloids, 2017, 69: 359-368.
- [16] 刘全祖, 叶建平, 杨仁党. 氧化交联淀粉取代丁苯胶乳对涂布纸性能的影响[J]. 造纸科学与技术, 2017, 36(3): 48-54.
- [17] 李明红, 王斌. 生物质基胶黏剂的研究进展[J]. 中国造纸, 2023, 42(12): 137-151.
- [18] 邹娟, 林涛. 生物胶乳对彩喷纸性能的影响[J]. 中国造纸学报, 2017, 32(2): 22-27.
- [19] 王红军, 温国明, 程小峰, 等. 彩色喷墨打印纸涂料制备及其应用[J]. 中华纸业, 2021, 42(16): 18-21.
- [20] 郑金, 孙鹏飞, 程鹏. VAE乳液的改性及应用进展[J]. 中国胶粘剂, 2023, 32(3): 64-69.
- [21] 张岩, 陈杰, 曹云峰. 喷墨打印纸涂层中胶黏剂配比对油墨扩散渗透的影响[J]. 中国造纸学报, 2015, 30(1): 32-35.
- [22] 王世泰, 张庆思, 李洪宝. 羧基丁苯-聚氨酯-干酪素复合胶黏剂及其在涂布纸中的应用[J]. 中国胶粘剂, 2000(2): 19-21.
- [23] 高秀芳, 樊利, 陈思雨. 硅烷共聚物分散剂在喷墨打印纸涂层中的应用研究[J]. 信息记录材料, 2023, 24(8): 14-16.
- [24] BAI J, LI Y. Synthesis of  $\text{CaCO}_3$ -based hyperdispersants and their application in aqueous coatings[J]. Coatings, 2023, 13(5): 819.
- [25] MCCLURE D D, LAMY M, BLACK L, et al. An experimental investigation into the behaviour of antifoaming agents[J]. Chemical engineering science, 2017, 160: 269-274.
- [26] MCCLEMENTS D J, JAFARI S M. Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: a review[J]. Advances in colloid and interface science, 2018, 251: 55-79.
- [27] 徐媚. 丁炔二醇醚改性有机硅消泡剂的制备及性能表征[J]. 中国造纸, 2023, 42(10): 69-77.
- [28] 陈通, 盛杰, 韩继友, 等. 阳离子淀粉作为固色剂对纸张固色效果的研究[J]. 中国造纸, 2019, 38(3): 27-31.
- [29] 王立成, 陈蕴智, 张正健. 几种阳离子固色剂对涂布纸喷墨打印性能的影响[J]. 中华纸业, 2011, 32(2): 34-38.
- [30] 李智斌, 刘金刚, 贾卫华, 等. 新型阳离子固着剂在彩色喷墨打印纸涂料中的应用[J]. 中国造纸, 2010, 29(9): 16-19.
- [31] 董栓, 陈光照, 邹家豪, 等. 典型涂料抗水剂对涂布白卡纸性能的影响研究[J]. 中华纸业, 2023, 44(16): 22-25.
- [32] 夏菲, 杜艳芬, 刘金刚, 等. 煅烧高岭土种类和用量在涂布牛卡纸中的应用研究[J]. 中国造纸, 2024, 43(3): 91-96.
- [33] 韩雨彤, 张正健, 辛纪辉, 等. 刮刀和辊式涂布对彩色喷墨打印纸性能的影响[J]. 中华纸业, 2014, 35(2): 15-19.
- [34] ZHAN J M, LIN K, LI Y H, et al. Numerical simulation investigation of the mechanism of lacquer curtain formation in curtain coating[J]. Engineering applications of computational fluid mechanics, 2024, 18(1): 2323127.
- [35] 杜艳芬, 刘金刚, 李洪才. 喷墨打印装饰纸涂层工艺的研究[J]. 中华纸业, 2020, 41(2): 22-29.
- [36] PARK J, SHIN K, LEE C. Roll-to-roll coating technology and its applications: a review[J]. International journal of precision engineering and manufacturing, 2016, 17(4): 537-550.
- [37] GE D T, YANG L L, ZHANG Y F, et al. Transparent and superamphiphobic surfaces from one-step spray coating of stringed silica nanoparticle/sol solutions[J]. Particle & particle systems characterization, 2014, 31(7): 763-770.
- [38] 卫敏. 压光速度及次数对涂布纸喷墨打印性能的影响[J]. 印刷质量与标准化, 2017(4): 29-33.
- [39] 李寒东. 不同压光方式对涂布纸张性能的影响[J]. 今日印刷, 2017(2): 60-63.

## Research Progress on Coating Materials and Coating & Calendering Processes of Color Inkjet Printing Paper

YAO Na, DING Dayong, LIU Zhong, ZHANG Zhengjian

(China Light Industry Key Laboratory of Papermaking and Biorefinery, Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** With the development of science and technology and the increasing improvement of people's living standards, color inkjet printing technology has been widely used. Color inkjet printing paper is the main carrier of color inkjet printing, and its coating structure and surface properties determine the printing quality to a large extent, which mainly depends on the quality of the coating material as well as the coating and calendering processes. In this paper, the properties and characteristics of the commonly used coating pigments, adhesives and other additives for color inkjet printing paper in recent years are introduced. An exploration was carried out on the coating and calendering methods which are the main production processes of color inkjet printing paper. In the future, coating solution will tend to be of "high concentration and low viscosity" to adapt to modern high-speed coating machines, and coating processes will develop towards low coating weight, high precision, and multi-functionality. Developing coating materials for color inkjet printing paper with high-definition, high-precision, high color reproducibility, and excellent light resistance, water resistance, and media corrosion resistance to meet the needs of special applications is still a frontier topic in this field. Improving coating materials and processes to enhance the environmental friendliness of color inkjet printing paper is an important development direction. Developing coating materials with good deinking performance and supporting processes can improve the recycling rate and reduce costs.

**Key words:** color inkjet printing; paper; pigment; adhesives; coating; calendering

.....  
(上接第6页)

## Research Progress on Preparation and Application of Food Packaging Film Based on Nanocellulose

YUAN Siyue, ZHU Ming, ZHANG Rui, LIU Pengtao

(China Light Industry Key Laboratory of Papermaking and Biorefinery, Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Food preservation packaging materials can extend the shelf life of food and prevent food waste. Currently, nanocellulose has been widely used in food preservation packaging materials. In this paper, the preparation methods of nanocellulose-based food packaging films, the effects of adding nanocellulose on the properties of typical food packaging films, and the typical applications of nanocellulose-based antibacterial coatings and packaging materials in food preservation are reviewed. Future research should focus on improving the stability of the quality of nanocellulose-based packaging materials and reducing production costs.

**Key words:** nanocellulose; food; package; antibacterial