

水转印纸双层帘式涂布涂料工艺的应用研究

李 洲

(广东冠豪新材料研发有限公司, 湛江 524072)

摘要:通过实验研究了水转印纸双层帘式涂布涂料的工艺适配性,确定了两层涂料的固含量、表面张力及黏度等参数的适配规律。结果表明:在两层涂料中,底涂涂料的固含量与表面张力均应大于表涂涂料;表涂涂料的黏度过低或过高都会大幅延长涂层脱模时间。当底涂涂料固含量为8%、表面张力为25 mN/m、黏度为200 mPa·s,表涂涂料固含量为7%、表面张力为24 mN/m、黏度为30 mPa·s时,可获得理想的涂布效果。在此工艺条件下,水转印纸的涂层表面均匀,无收缩斑,其涂层脱模时间为25 s,横向挺度为3.53 mNm,粗糙度为1.30 μm ,横向收缩率为1.67%。

关键词:双层帘式涂布;水转印纸;适配性;脱膜时间;均匀性

作为转印图案的承载物,水转印纸一般是由三层组成,下层为原纸,中层为可成膜胶粘层,表层为水溶胶层。其技术原理是:在水转印纸上印刷彩色图文后,将其平置于水面;借助水压作用,使纸上的水溶胶层自动溶解于水中,随后将原纸抽出。最后,将色彩纹路图案均匀转印于产品表面,经清洗及烘干后,再喷涂一层透明的保护层。产品表面形成立体仿真图文,进而呈现出独特的立体视觉效果。水转印纸涂布生产过程对涂布设备的适应性较强,常见的涂布方式包括刮刀、刮棒、气刀、网纹辊涂布等,也可采用坡流、狭缝、帘式等精密涂布方式。本文对水转印纸双层帘式涂布涂料工艺性能展开研究。

帘式涂布作为一种非接触仿形、定量型的涂布方式,具有诸多优点。涂布过程中不存在涂料回流,可降低涂布量的横幅波动。该工艺具有良好的涂布覆盖性,能有效遮蔽原纸表面的多数尘埃与纸病,同时节约纤维,且不损耗涂布元件。此外,该工艺还可以规避刮刀涂布常见的刮线、刮痕、背流等缺陷,以及膜转移涂布工艺易出现的雾溅、橘皮纹等问题。该工艺适用于低强度原纸的施涂,能有效减少涂布过程中的断纸现象、提高运行效率,因此兼具经济效益、技术优势和质量优势^[1-2]。帘式涂布因为活动部件少、对纸幅施加应力小、仿形涂布效

果优异等突出特点,具有替代传统涂布方式的潜力,在涂布纸和纸板,尤其是特种涂布纸的生产中应用前景广阔^[3]。

帘式涂布又分为单层和多层帘式涂布。多层帘式涂布(直落式和滑落式)可同时涂布不同黏度、不同成分的涂料,但其应用存在限制:涂布后湿膜的整体干燥能力、各层涂料的蒸发速率差异、各涂料组分间的化学不相容性。多层滑落式涂布的操作窗口较窄,且需要更多的添加剂来控制涂料的拉伸流变特性^[4]。由于多层涂布采用的是水溶液或以水为介质的悬浮体系,各涂层间易发生混溶难以形成稳定的层间界面。当上层的动态表面张力是下层的1.2~1.3倍时,会产生不润湿现象,因此由底层至顶层各涂层的表面张力应依次递减1 mN/m或数mN/m,这一参数控制是非常关键的^[5]。在双层涂布工艺中,若要实现上层液体能在下层液体表面的良好铺展,上层涂层的表面张力必须小于下层涂层^[6]。

李强^[7]对帘式涂布头运行过程中存在的破帘、小气泡、鞋跟、料线、边缘厚料、帘幕脉冲跳动等问题进行分析,并提出了解决措施,最终在应用中取得了良好效果。陈又军等^[8-9]的研究表明,适当提高高压敏胶涂料的固含量至60%以上、添加不超过15%的微球填料和不超过0.6%的抗高剪切流变助剂,可以提高涂料帘式涂布的最大涂布流量。将多层帘

式涂布技术应用于压敏胶标签的涂布实验,验证了“各层涂料流量之和大于最小成帘流量即可形成稳定幕帘”这一结论。研究发现,适宜的涂料表面张力差异有助于层间界面形成,但是表面张力差异过大时,高表面张力涂层易出现“鱼眼”状漏涂缺陷。

本文采用坡流式双层帘式涂布头,以水转印纸涂料为研究体系,确定了涂料工艺参数的适配规律。

1 实验

1.1 原料与试剂

玉米改性淀粉、马铃薯改性淀粉,均由佛山某淀粉厂提供;未涂布含有颜料层水转印原纸,公司自产,定量 170 g/m^2 ,厚度 $210\text{ }\mu\text{m}$,吸水值 100 g/m^2 。

阴离子表面活性剂(十二烷基苯磺酸钠),市售;阴离子聚氨酯型增稠剂,东莞某化工厂提供。

1.2 仪器与设备

DV-II+Pro型黏度计,美国Bookfield公司;Phenom Pro型扫描电子显微镜,荷兰Phenom-World公司;MX-50型快速水分测定仪,日本A&D公司;JK99C型表面张力测定仪,上海中晨数字技术设备有限公司;多层帘式涂布试验机,瑞士TSE公司;PC397型电子秒表,深圳市惠波工贸有限公司。恒温水浴锅W20-100SP,上海申生科技有限公司;升降式分散机102,广州海川机械设备有限公司;FFiber-Bend01型挺度测定仪,广东弗艾博纤维技术研究有限公司;CE165型粗糙度仪,瑞典L&W公司;CD-30AX型数显卡尺,日本三丰。

1.3 实验方法

1.3.1 涂料的制备

底涂涂料为马铃薯改性淀粉蒸煮液,由于马铃薯改性淀粉相对分子量较大,其涂层在水中溶解性较差。具体制备方法如下:按需求固含量配制淀粉悬浮液,搅拌状态下置于水浴锅中蒸煮,蒸煮温度 $80\text{ }^\circ\text{C}$,保温 30 min ,蒸煮完毕后在室温下冷却至常温,备用。底涂涂料的基本物性如下:固含量 8% 、表面张力 25 mN/m 、黏度 $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

表涂涂料为玉米改性淀粉蒸煮液,由于玉米改性淀粉相对分子量较小,其涂层在水中溶解性良好,能够快速溶解。具体制备方法如下:按需求固含量配制淀粉悬浮液,搅拌状态下置于水浴锅中蒸煮,蒸煮温度 $90\text{ }^\circ\text{C}$,保温 30 min ,蒸煮完毕后在室温下冷却至常温,备用。根据需要调整表面活性剂

用量,使得表涂涂料达到所需表面张力;调整增稠剂用量,使表涂涂料达到所需黏度。

1.3.2 原纸涂布

坡流式双层帘式涂布设备的示意图如图1所示。采用自制涂料,使用实验室帘式涂布机涂布于含颜料层的水转印原纸上。车速 300 m/min ,涂布头间隙 $200\text{ }\mu\text{m}$,底涂涂料的涂布量为 6 g/m^2 ,表涂涂料涂布量为 4 g/m^2 。

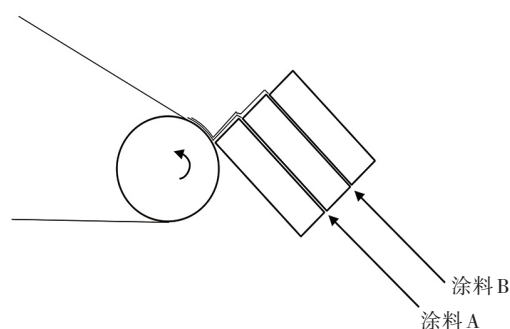


图1 坡流式双层帘式涂布设备示意图

1.3.3 测试方法

(1)涂料黏度测定:使用黏度计测定底涂涂料和表涂涂料的黏度,测定温度为常温。

(2)涂布均匀性检测:观察涂层的表面均匀性,记录存在纸病情况。

(3)涂布量测定:涂布量根据式(1)计算。

$$w = \frac{a \times b}{c \times d} \quad (1)$$

式中: w 为涂布量, g/m^2 ; a 为固含量, $\%$; b 为流量, g/min ; c 为车速, m/min ; d 为幅宽, m 。

(4)脱模时间测定:采用GB/T 29283—2012《水转移印花底纸》中的方法进行测定。

(5)水转印纸主要性能测定:分别采用GB/T 22364—2018《纸和纸板 弯曲挺度的测定》、GB/T 22363—2008《纸和纸板粗糙度的测定(空气泄漏法)本特生法和印刷表面法》和GB/T 459—2002《纸和纸板伸缩性的测定》中的方法,对涂布后水转印纸的挺度、粗糙度和伸缩性进行测定。

2 结果与分析

2.1 双层帘式涂布涂料固含量适配性研究

表涂涂料固含量按照 $5\% \sim 11\%$ 梯度配制,调整表面活性剂和增稠剂用量,将表涂涂料表面张力控制在 24 mN/m 左右、黏度控制在 $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 左右。选

取不同固含量涂料搭配组合进行实验,组合方式如表1所示。采用实验室帘式涂布机涂布,底涂涂料的涂布量按照 6 g/m^2 控制,表涂涂料的涂布量按照 4 g/m^2 控制。涂布完成后,对样品的涂布均匀性和脱模时间进行检测,结果如表1所示。

表1 表涂涂料固含量变化对双层帘式涂布性能的影响

固含量差值/%	涂布均匀性	脱模时间/s
-3	均匀	20
-2	均匀	23
-1	均匀	25
0	均匀	35
1	均匀	50
2	均匀	68
3	均匀	72

注:底涂涂料固含量为8%;涂料固含量差值=表涂涂料固含量-底涂涂料固含量。

从表1可以看出:以上涂料组合,涂布均匀性均合格;不同涂料固含量配比,对涂布的均匀性无明显影响。当涂料固含量差值从-3%增加到-1%时,涂层脱膜时间会缓慢上升;涂料固含量差值从-1%提高到2%时,涂层脱膜时间会快速上升;继续提高固含量差值至3%,涂层脱膜时间则继续缓慢上升。分析其原因可知,当表涂涂料固含量大于或等于底涂涂料时,表涂涂料的密度大于或等于底涂涂料,因为重力作用,表涂涂料与底涂涂料发生混料;同时,混料程度随密度差值增大而逐渐加剧,密度差值达到一定程度后,混料程度的变化趋于平缓。根据实验结果,当涂料固含量差值 $\leq -1\%$ 时,涂层脱膜时间适宜,可满足实际使用要求。考虑到实际需求,脱膜时间并非越快越好,因此选定涂料固含量差值为-1%,即表涂涂料的固含量确定为7%。

2.2 双层帘式涂布涂料表面张力适配性研究

表涂涂料固含量确定为7%,黏度调控至 $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 左右,通过调整其配方中表面活性剂的用量,将涂料表面张力调控至设定值。涂布实验完成后,观察样品的涂布均匀性,测定涂层脱膜时间,结果如表2所示。

从表2可以看出:涂料表面张力差值从 -3 mN/m 增加到 -1 mN/m 时,涂层涂布均匀性合格,无明显异常。经肉眼和扫描电镜观察,该区间内涂层表面均呈均匀状态。当涂料表面张力差值进一步增大时,涂层涂布均匀性变差,出现收缩斑缺陷;且随着表面张力差值持续增大,收缩斑缺陷呈逐渐加重的趋势。

表2 表涂涂料表面张力变化对双层帘式涂布性能的影响

表面张力差值/($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)	涂布均匀性	脱模时间/s
-3	均匀	26
-2	均匀	24
-1	均匀	25
0	轻微收缩斑	26
1	中度收缩斑	25
2	大量收缩斑	25
3	大量收缩斑	26

注:底涂涂料表面张力为 25 mN/m ;表面张力差值=表涂涂料表面张力-底涂涂料表面张力。

考察涂料表面张力差值对涂层脱膜时间的影响时,发现在本实验范围内,涂料表面张力差值对涂层脱膜时间无明显影响规律。根据表2的实验结果,只需保证表涂与底涂涂料的表面张力差值 $\leq -1\text{ mN/m}$,即可确保涂层涂布均匀性。结合帘式涂布工艺的一般规律,两层涂料的表面张力差值不宜过大,因此确定将表涂与底涂涂料的表面张力差值控制为 -1 mN/m ,即表涂涂料的表面张力调控至 24 mN/m 左右。

2.3 双层帘式涂布涂料黏度适配性研究

表涂涂料固含量确定为7%,表面张力调控至 24 mN/m 左右,通过调整其配方中增稠剂的用量,将表涂涂料黏度调控至选定范围。按表3所示的涂料黏度组合开展涂布实验,检测样品的涂布均匀性,测定涂层脱膜时间,结果如表3所示。

表3 表涂涂料黏度变化对涂布均匀性能的影响

表涂涂料黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	涂布均匀性	脱模时间/s
10	均匀	40
20	均匀	26
30	均匀	25
40	均匀	26
50	均匀	28
60	均匀	31
70	均匀	35

注:底涂涂料的黏度为 $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

从表3可以看出:所有涂料黏度组合下,样品的涂布均匀性均合格,表明不同涂料黏度组合对涂布均匀性无明显影响。当表涂涂料黏度从 $10\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 增至 $20\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,脱膜时间呈快速下降趋势;黏度从 $20\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 增至 $40\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,涂层脱膜时间基本保持稳定;黏度从 $40\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 增至 $70\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,脱膜时间呈逐渐上升趋势。分析认为,表涂涂料黏度较低时,两层涂料间发生混料,进而导致脱膜时间延长;黏度较高时,高黏度会导致涂层溶解变慢,同样使

涂层脱模时间延长。综合考虑,选定表涂涂料黏度为 $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,涂层脱模时间较为适宜。

2.4 水转印纸主要性能

采用优化涂料工艺条件进行涂布实验,工艺参数如下:底涂涂料固含量 8% ,表面张力 25 mN/m ,黏度 $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$;表涂涂料固含量 7% ,表面张力 24 mN/m ,黏度 $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。所得水转印纸样品的涂层表面均匀平整,无收缩斑等表面缺陷。对样品的主要性能进行检测,结果为:涂层脱模时间 25 s ,横向挺度 $3.53\text{ mN}\cdot\text{m}$,粗糙度 $1.30\text{ }\mu\text{m}$,横向收缩性 1.67% 。

3 结论

通过实验确定了水转印纸双层帘式涂布涂料的优化工艺,即底涂涂料的固含量与表面张力应大于表涂涂料;当底涂涂料固含量为 8% 、表面张力为 25 mN/m 、黏度为 $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$,表涂涂料固含量为 7% 、表面张力为 24 mN/m 、黏度为 $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,涂布效果较理想。此时涂层表面均匀,无收缩斑,涂层脱模时间为 25 s ,横向挺度为 3.53 mNm ,粗糙度为 $1.30\text{ }\mu\text{m}$,横向收缩率为 1.67% 。

在本文实验条件下,不同底涂涂料和表涂涂料的表面张力组合对脱模时间没有明显影响;不同底涂涂料和表涂涂料的固含量组合、黏度组合均对涂

布均匀性没有明显影响。表涂涂料黏度过低或过高都会大幅延长涂层脱模时间。通过调节底涂涂料和表涂涂料的固含量、表面张力及黏度配比,能够有效控制涂布效果。

参考文献:

- [1] 舒君明,杨兵. Henri Vaittinen 多层帘式涂布用于涂布牛卡的技术开发[J]. 中华纸业, 2018, 39(14): 17-22.
- [2] 赵恺. 帘式涂布技术应用及探讨[J]. 中华纸业, 2017, 38(24): 26-31.
- [3] 刘金刚,王比松,李洪才. 帘式涂布技术的应用前景及其所面临的挑战[J]. 华东纸业, 2016, 47(2): 28-31.
- [4] 赵海. 热敏纸的现代化生产工艺[J]. 上海轻工业, 2025(1): 162-165.
- [5] 黄尚鸿,谭绍勳. 表面张力匹配对多层坡流涂布质量的影响[J]. 影像技术, 2003(2): 15-17.
- [6] 赵伯元. 现代涂布工艺研究进展[J]. 影像技术, 1998(2): 1-6.
- [7] 李强. 帘式涂布中几个问题的分析及处理[J]. 中华纸业, 2012, 33(18): 64-66.
- [8] 陈又军,钟荣湛. 提高乳液压敏胶帘式涂布性能的方法研究[J]. 造纸科学与技术, 2024, 43(9): 6-9.
- [9] 陈又军,钟荣湛. 多层帘式涂布压敏胶涂料性能的研究[J]. 造纸科学与技术, 2024, 43(10): 23-25, 33.

Study on Application of Coating Process for Double-Layer Curtain Coating of Water Transfer Paper

LI Zhou

(Guangdong Guan hao New Materials Research and Development Co., Ltd., Zhanjiang 524072, China)

Abstract: The process adaptability of double-layer curtain coating for water transfer paper was studied through experiments. The adaptation rules of parameters such as solid content, surface tension and viscosity of the two layers of coatings were determined. Results show that for a two-coat system, both the solid content and surface tension of the undercoat should be higher than those of the topcoat. An excessively low or high viscosity of the topcoat will significantly prolong the demolding time of coating. When the undercoat coating has a solid content of 8% , a surface tension of 25 mN/m and a viscosity of $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$, and the topcoat coating has a solid content of 7% , a surface tension of 24 mN/m and a viscosity of $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$, an optimal coating effect can be achieved. Under the aforementioned process conditions, the coating surface of the water transfer paper presents a uniform morphology without shrinkage spots, with a coating release time of 25 s , a transverse stiffness of $3.53\text{ mN}\cdot\text{m}$, a surface roughness of $1.30\text{ }\mu\text{m}$, a transverse contraction of 1.67% .

Key words: double-layer curtain coating; water transfer paper; adaptability; demolding time; uniformity

(责任编辑:常涛)