涂布技术研究进展

秦睿睿[1]，许文才[1]，陈邦设[2]，薛志成[2]，罗世永[1]
(1. 北京印刷学院 印刷包装材料与技术北京市重点实验室，北京 102600；2. 陕西北人印刷机械有限责任公司，渭南 714000)

摘要： 综述了压辊类涂布、刮刀类涂布、挤出涂布、帘式涂布、旋转涂布和喷雾涂布等涂布技术的特点。指出了选择合适的涂布方式、加强涂层在线检测控制和调整涂布液流变特性，是涂布技术向更快、更精发展的重要手段。

关键词： 涂布技术；压辊类涂布；特殊刮刀涂布；特殊涂布；在线检测；流变性

中图分类号： TS484；TS835 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2012)03-0132-05

Progress of Coating Technology

QIN Rui-rui[1], *XU Wen-cai*[1], *CHEN Bang-she*[2], *XUE Zhi-cheng*[2], *LUO Shi-yong*[1]
(1. Beijing Key Laboratory of Printing & Packaging Materials and Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China; 2. Shaanxi Beiren Printing Machinery Co., LTD, Weinan 714000, China)

Abstract: The characteristics of coating technologies of the compression roller coating, scraper coating, extrusion coating, curtain coating, spin coating, and spray coating were summarized. It was put forward that the important means to develop faster and more precise coating technology are to choose appropriate coating way, to strengthen on-line coating detection and control, and to adjust the rheological properties of the liquid coating.

Key words: coating technology; compression roller coating; peculiar scraper coating; special coating; on-line detection; rheological property

涂布是将一层或多层具有特定功能的材料附着于基材表面上，以改善基材表面性能或保护基材，赋予基材特殊功能或者直接利用涂层表面特性提高产品的使用价值。涂布工艺技术最早用于感光工业、纸加工工业和塑料包装工程等领域[1-5]，目前由于涂布技术发展速度快、成本低而被各种新型电子元器件生产流程采用，被涂基材也已从纸张、各类高分子薄膜，扩展到铝箔、铜箔乃至钢板，比如各种新型电池的电极和电容的电极涂布[6-9]，但是新型器件对涂布技术有新的要求，比如锂离子电池隔膜的纳米涂层，要求涂布层厚度为纳米级而且膜层厚度均匀性在 10 nm 之内，现有涂布技术并不能满足要求。作为层贴复合和表面装饰的关键工艺，涂布技术得到科技、生产及相关人员的高度重视，并得到不断总结、不断改进，成为一种与时俱进、不断发展的工艺。

1 涂布方式

1.1 压辊类涂布

1.1.1 网线辊涂布

网线辊涂布适用于低浓度、高干燥能力的溶剂型胶粘剂，涂膜光滑，无漏涂。其中，网孔的深浅与密度决定涂布量，网孔越深，涂布量越大，网孔密度越大，涂布量也越大，该涂布方式常采用金属网纹辊与陶瓷网纹辊等。网线辊涂布所使用的基材可以是纸张、塑料、金属等。例如，若以聚酯薄膜为基膜，采用 75～85 线的陶瓷网线辊作为涂布网线辊，可以生产出烟草包装行业的可降解水性转移镭射包装纸[10]；以网线辊涂布方式在纸张上涂以隔潮材料、防水材料和防油材料，可以制得用于包装冷饮或短时间的一次性饮水工具的可迅速降解的包装材料[11]；将导电涂料用

收稿日期： 2011-10-08

作者简介： 秦睿睿(1987－)，女，河南周口人，北京印刷学院硕士生，主攻环保包装材料。

网线辊涂布方式涂于经表面处理的集流体上，可制得超级电容器[12]。

1.1.2　光辊涂布

光辊涂布是通过辊与辊转移涂布液达到涂布目的，这种涂布方式通常采用两辊转移涂布。通常通过调整其上胶辊和涂布辊之间的间隙来控制涂布量，成本稍高。由于这种涂布方法主要采用高精度的光辊进行上胶涂布，涂布效果较好，涂布量大小除了通过上胶辊和涂布辊之间的间隙来调整，还可通过涂布刮刀的微动调节来灵活控制，涂布精度高，目前在涂布复合设备上的应用最广。

1.2　特殊刮刀涂布

1.2.1　刮棒（匀胶辊）涂布

常用强度硬度较好的圆棒精加工制做成刮棒，刮棒操作简单，涂布量为 4～20 g/m^2，适用涂料粘度为 1 000～2 000 mPa·s。刮棒的误差要求较小，可用于光辊涂布的预刮胶，也可用于涂布量较厚的一次性刮胶；当涂料黏性大时，也可以直接用刮棒刮在基材上。刮棒涂布中最常用的是计量棒，计量棒是在不锈钢杆上缠绕精密的不锈钢拉丝，从而形成带不同形状的凹槽棒，可对大多数基材进行精确、可重复的表面涂布。例如，用设有沟纹结构的刮棒涂布白卡纸，可以生产出具有防伪纹理及防伪颜色涂层双重防伪结构的白卡纸[13]。利用刮棒将由硅烷耦合剂、有机金属化合物、硅酸盐、磷酸或磷酸化合物 4 种成分组成的处理剂涂在镀锌钢板表面，可以使金属表面具有优秀的耐蚀性、耐碱性、耐变黑性、耐指纹性、耐溶剂性和溶液稳定性[14]。

1.2.2　气刀涂布

气刀涂布是我国现有涂布设备中，最普遍、最有效的涂布设备，是利用加压喷射出来的空气来调节涂布量和涂布层的平滑度。气刀涂布在涂布纸的生产中得到广泛的应用，其工作原理是由涂布辊将过量的涂料涂在原纸表面上，而后在纸幅通过背辊与气刀之间时，由气刀喷嘴间所喷射出与纸幅成一定角度的气流将过量的涂料吹落，就此在原纸表面形成一层组织均匀、厚度一致的涂料层[15]。气刀涂布不直接与纸面接触而把多余的涂料从纸上吹下，因此，气刀涂布适用于机内涂布及纸板涂布。气刀涂布涂布量偏大（10～40 g/m^2），要求涂料固含量较低（20%～50%），其涂布量较厚，涂布层比较均匀[16]。气刀涂布具有较强的通用性，一般适用于各种类型及机型的涂布，且对设备的精度要求不太高，但气刀涂布的涂布效果不是太好，涂层的平滑度、光泽度及表面平整性较差。气刀涂布不与涂料接触，特别适用于压敏性涂料的涂布，常用于压敏纸、热敏纸、喷墨纸、复写纸及涂布纸板等工业生产中。

1.2.3　钢丝刮刀涂布

钢丝刮刀是在高精度圆钢外绕不锈钢丝精制而成，其结构简单、造价低，使用及维护方便，刮刀应用时转动性好，但涂层的厚薄均匀性及稳定性差，用于逗号刮刀前预刮胶。涂布液固体含量和刮刀钢丝直径是影响涂布量的主要因素。涂布液固体含量越大，涂布量也越大；钢丝直径越大，两钢丝之间形成的间隙就越大，涂布量越大，要同时达到稳定质量和降低成本的目的，可以在适当增大涂布液固体含量的同时，减小刮刀钢丝直径，以保证涂布量不变，稳定粘合质量。实际生产运行中，薄膜张力和涂布液粘度仍会在一定程度上影响涂布量和涂布的均匀性，如用钢丝刮刀在经处理的照像原纸或静电原纸上刮涂氧化锌涂料，可以用来生产氧化锌版纸[17]。

1.2.4　逗号式刮刀涂布

逗号刮刀是一种新的涂布方式之一，所谓“逗号刮刀”是圆辊表面沿母线加工成刃口，形似逗号。逗号刮刀作为涂布头中的关键部件之一，具有其它刮胶设备所不具有的优点，此种刮刀的强度、硬度高，机构简单、造价低，涂布量易于控制和刮胶精度高，使用极为方便，刮胶均匀，用“逗号刮刀”代替钢片刮刀能得到平滑的涂层。对于高固含量、高黏度的涂布液，要求高精度的逗号刮刀。刮刀是水平涂布，刮刀直接和涂料接触，其计量的作用力远远大于气刀的风力，因此刮刀比气刀适应更高的涂料固含量。刮刀涂布涂料固含量一般为 55%～65%，涂布量为 8～38 g/m^2，涂料黏度为 200～1 000 mPa·s[18]。刮刀涂布尽管适用性较好，但是对复写纸涂布，特别是有色涂层来说，刮刀条痕会在很大程度上影响涂层的外观，对转移复写纸的有色层造成一定的困难，此涂布方式适用于高粘度、大涂布量的涂布[19]。

1.3　其它特殊涂布

1.3.1　挤出涂布

挤出涂布又被称作挤出复合、淋膜，挤出涂布是把熔融的热塑性塑料（树脂）通过缝型模头挤出，使之成为连续的熔融状的薄膜并压贴（粘合、复合）在向前移动的基材（如薄膜、纸张、纸板、箔片等）上的一项技

术[20]。当熔体温度不均匀,或由于压力波动使机器的挤出量突然变化时,都会发生边缘摆动,即熔体幕的宽度突然变化,会使得涂层过厚,增加废品率,常在生产线上安装一台红外温度扫描仪诊断该问题。挤出涂布一般涂布量少,价格便宜,且环境污染小,复合后材料中残余量少。挤出涂布可通过 T 形口模涂 4～100 μm 涂层厚度,并且挤出涂布系统使用方便,具有较高的自动化水平和大规模生产的稳定性。必须使挤压嘴的设计及操作参数在一个合适的范围内,也就是进入涂布技术中称为“涂布窗口”的临界条件范围内,才能进行正常涂布。可用于锂电池极片涂布[21],也可用于塑料基材的涂布以赋予复合材料良好的性能[22]。现代快餐方便面包装已全部采用挤出流延法生产,在生产果冻盖时,使用低温可热封易剥离树脂挤出涂布铝箔盖材上,使之易同装果冻的底托盘热封。

1.3.2 旋转涂布

借助于高速旋转所产生的离心力,将加注于支持体表面的液料进行铺展,进而形成所需厚度的涂层,这种涂布方式称为旋转涂布。旋转涂布常被用于各种聚合物溶液的涂布,其在电子信息产业领域也有着广泛的应用,此种方式形成的涂层厚度可以从几十纳米到几微米,厚度均匀性可达百分之一[23]。涂层厚度取决于涂布液的固含量、涂布液溶剂的挥发速率以及旋转速率等。旋转涂布常用于平面显示器玻璃基板涂布、光盘的涂布、半导体集成电路光刻胶的涂布[24]。

1.3.3 帘式涂布

随着人们对表面均一度要求的提高,非接触式涂布技术受到越来越多的关注。帘式涂布是一种非接触式涂布技术,其很可能是涂布方法下一个大的发展趋势。帘式涂布的原理是:涂料从涂料分配器喷嘴中流出连续性的薄膜,以幕帘状坠下,通过一段 51～457 mm 的距离沉积在喷嘴下面纸幅上。帘式涂布属于仿形涂布,对于防护涂布非常理想。由于为非接触式涂布,帘式涂布可以在不规则表面的支持体上获得均匀的涂层。帘式涂布对于基材的压力分布不均,涂层表面较粗糙。帘式涂布的涂布量通过涂料管线上的压差和网眼大小或涂布器模具的几何形状来控制。根据涂布品种不同,帘式涂布要求涂料固含量范围控制在 200～10 000 mPa·s 范围内,并且涂料应具有良好的流变性,优异的成膜性,必须形成连续性的膜,即幕帘,涂层厚度为 8～40 μm[25],此方法涂布质量优异,操作简单、成本低、生产效率高。气刀适用的领域将来很有可能会被帘式涂布代替,其将广泛用于喷墨打印材料、照相感光材料、软包装材料、胶黏带、装饰纸、无碳纸、热敏纸、铝箔等领域。

1.3.4 喷雾涂布

喷雾涂布也是一种非接触式涂布技术,其利用独特可控高压喷雾装备和喷雾工艺,在没有任何机械接触的情况下,使雾化的涂料均衡地扩展到基材上的一种涂布方式,喷雾涂布工艺实质是涂覆或表面施胶,是一种可以实现较高速率车速的涂布方式。喷雾涂布工艺的原理是涂料经过喷嘴孔以高压连续喷射至涂布基材上。在喷雾涂布中,喷雾涂布中液滴在被涂基材表面的扩散起主要作用,其归因于涂布液中超过 90%的液滴的大小在 20～60 μm 之间,涂料液滴直径大于涂层厚度[26]。涂层表面光滑、表观质量好、手感较佳;喷雾涂布解决了在刮刀涂布和光棒计量涂布中出现的条纹现象;除低速下最小涂布量之外,喷雾涂布基本上不受涂布量的限制,涂布量范围在 0.1～30 g/m^2 之间变化[27]。喷雾涂布工艺的运行费用相对较低,可以应用在高速涂布操作中,涂布量的调节范围也较宽,另外,其对被涂支持体的强度要求较低。

2 涂布技术的发展方向

随着工业技术的发展,以及社会对涂层产品需求的不断扩大,近十几年来,涂布技术得到了很大的发展。现代涂布技术研究方向正朝着两个极端发展,电池极片和无纺布涂布等涂布要求涂层非常厚;光学薄膜和磁记录介质薄层等涂布要求涂层非常薄,甚至几个纳米。纳米涂布要求更薄的涂层厚度及更好的涂层均一性,因此,选择合适的涂布方式、加强膜层质量在线检测及调整涂布液流变性是非常重要的,是发展涂布技术的必要条件。由于刮棒、气刀涂布只适用于较薄涂层的涂布,但锂离子电池极片涂布要求浆料湿涂层为 100～300 μm,对于此种高精度厚涂层涂布,一般选用挤压涂布或辊涂,但是对于需要获得超薄层、高输出磁记录介质极片浆料涂布可以采用双层膜拉伸挤压涂布。

同时,随着现代高速涂布的要求越来越高,对涂料的性能也提出了更高的要求。涂料的流变性能是一个决定涂布质量的关键因素,因此,涂料的流变性

能已经成为国内外研究热点。涂布液浓度较高时涂布后的涂层较厚;而低粘度的涂布液可以涂布出较薄的涂层。此外,在刮刀涂布过程中,涂布液受较高剪切速率的作用,要求涂布液符合“高浓低黏”的要求,浓度要求为60%以上,同时具有剪切变稀的性能,以使在较高剪切速率作用下有较低的粘度[28]。这是由于在使用相同的胶黏剂时,涂布液浓度越大,固含量越大,克服微粒间引力使得摩擦力增大[29],但是气刀涂布受气流能量的限制,则一般选用低固含量、低黏度的涂布液[30]。在涂布工艺中,通过优化工艺配方来改性涂料的流变性可以达到涂布运行性好的目的,使用纳米级粒子,能够改变涂料制备液的流变性能。由于纳米级粒子具有的表面效应和量子尺寸效应,可用于控制涂料液制备时的电位、pH值及表观粘度,以实现制备涂料的高浓低粘,新型纳米助剂的添加促进了高速涂布机涂布操作的可运行性[31]。此外,在涂布过程中,影响涂布质量的因素很多,其中主要是来自机械设备、工艺、物料等方面的影响,所以,增强涂布表观质量的在线检测是非常重要的,如在线测量装置分别将测得的涂层装载量的数据反馈到所述程序控制装置,所述程序控制装置计算出涂层的实时装载量并与涂层的预设装载量进行比较,然后发布调节指令至所述涂布装置,可以来调整涂布的浆料输出量。

3　结论

随着纳米技术的应用以及涂布技术的不断革新、质量在线检测的加强和涂布液流变性的逐渐调整,造纸等行业向高车速、宽幅、低涂布量方向发展的涂布技术也将得到相应实现;此外,涂布技术也将能向高精度、薄层、多功能层集成方向发展。

参考文献:

[1] SAMYN P,SCHOUKENS G,Van den ABBEELE H. Application of Polymer Nanoparticle Coating for Tuning the Hydrophobicity of Cellulosic Substrates[J]. Journal of Coatings Technology and Research,2011,8(3):363－373.

[2] 王建清,赵亚珠,金政伟. 精油涂膜瓦楞纸板的制备及抑菌活性研究[J]. 包装工程,2010,31(23):1－3.
WANG Jian-qing,ZHAO Ya-zhu,JIN Zheng-wei. Preparation of Corrugated Board Coated with Oregano Oil and Study on Its Antimicrobial Activity[J]. Packaging Engineering,2010, 31(23):1－3.

[3] 陈昌杰. PVA涂布型气体阻隔性薄膜的特性[J]. 塑料包装,2010,20(4):52－33.
CHEN Chang-jie. Characteristics of Gas Barrier Property Film Coated by PVA [J]. Plastics Packaging,2010,20(4):52－33.

[4] 胡焱清,李子繁,孙红旗. 耐水改性聚乙烯醇涂布膜的研究进展及发展前景[J]. 包装工程,2010,31(1):108－110.
HU Yan-qing,LI Zi-fan,SUN Hong-qi. Research Progress and Development Prospects of Water Resistant Modified PVA Coated Films[J]. Packaging Engineering,2010,31(1):108－110.

[5] 林宝凤,杜予民,陈亮. 壳聚糖涂布纸的保鲜包装特性研究[J]. 包装工程,2008,29(1):1－3.
LIN Bao-feng,DU Yu-min,CHEN Liang. Study of the Characteristic of Fresh-keeping Wrapper Coated with Chitosan[J]. Packaging Engineering,2008,29(1):1－3.

[6] LEI Hua,XU Tao,GAO Chuan-tao. Characterization of the Dispersion of Tetrapod-like Nano-ZnO Whiskers in Acrylic Resin and Properties of the Nano-composite Coating System[J]. Journal of Coatings Technology and Research,2010,7(1):91－97.

[7] 谭智实. 韩开发出纳米材料阳极涂布技术[J]. 功能材料信息,2007,4(1):62.
TAN Zhi-shi. Korea Has Developed an Anode Coating Technology about Nanometer Material [J]. Functional Materials Information,2007,4(1):62.

[8] YUTAKA M,YUSUKE D,ATSUSHI M. Phase-separation and Distribution of Phenyl Groups for PhTES-TEOS Coatings Prepared on Polycarbonate Substrate[J]. Journal of Sol-Gel Science and Technology,2010,58(1):80－84.

[9] 唐倩,韩明,林治银. 涂布法制备质子交换膜燃料电池亲水电极[J]. 电源技术,2001,25(6):387－388.
TANG Qian,HAN Ming,LIN Zhi-yin. Hydrophilic Electrodes of PEMFC Prepared by Plastering [J]. Chinese Journal of Power Sources,2001,25(6): 387－388.

[10] 尹根方,焦秀英. 一种可降解水性转移镭射包装纸的生产方法:中国,CN101831846A[P]. 2010-09-15.
YIN Gen-fang,JIAO Xiu-fang. A Working Method for the Laser Wrapping Paper with Biodegradable and Water-Based Nature:China,CN101831846A[P]. 2010-09-15.

[11] 陈德苍,彭翠玲,冯亮. 一种可迅速降解包装材料的生产方法:中国,CN101987318A[P]. 2011-03-23.
CHEN De-cang,PENG Cui-liang,FENG Liang. A Working Method for the Rapid Degradation Packaging Materials:China,CN101987318A[P]. 2011-03-23.

[12] 范勤儒,杨晓明. 一种规模化生产的超级电容器:中国,CN101140828A[P]. 2008-03-12.
FAN Qin-ru,YANG Xiao-ming. A Large-scale Produc-

tion of Super Capacitors: China, CN101140828A [P]. 2008-03-12.

[13] 布宁等. 一种防伪涂布白卡纸及其生产工艺:中国, CN101644014A[P]. 2010-02-10
BU Ning. A Kind of Anti-counterfeiting Coated White Cardboard And Its Productive Technology: China, CN101644014A[P]. 2010-02-10.

[14] 饶晓霞. 金属表面处理剂及其处理金属表面的方法:中国,CN101139500A[P]. 2008-03-12.
RAO Xiao-xia. A Treatment Agent for Metal Surface and the Method about Processing the Metal Surface:China,CN101139500A[P]. 2008-03-12.

[15] 刘一山,张美云. 怎样稳定涂布量[J]. 西南造纸,2004,33(5):37-38.
LIU Yi-shan, ZHANG Mei-yun. How to Stabilize the Coating Amount[J]. Southwest Pulp and Paper, 2004, 33(5):37-38.

[16] 方伟庆. 气刀涂布节约涂料的办法[J]. 纸和造纸,2002(6):28.
FANG Wei-qing. A Method for Air Blade Coating to Save Coatings[J]. Paper and Paper Making,2002(6):28.

[17] 邢继铭,张翠琴. 氧化锌版纸的一种湿法制造技术:中国,CN1064120A[P]. 1992-09-02.
XING Ji-ming, ZHANG Cui-qin. A Wet Manufacturing Technology for Zinc Oxide Version of the Paper:China, CN1064120A[P]. 1992-09-02.

[18] 方伟庆. 涂料固含量和涂布量的关系[J]. 纸和造纸, 2007,26(2):14.
FANG Wei-qing. The Relationship between Coating Solidity and Coating Amount[J]. Paper and Paper Making, 2007,26(2):14.

[19] 吴成业. 涂布机用新型逗号刮刀组合装置研究[D]. 合肥工业大学,2010.
WU Cheng-ye. Research on New Comma Blade's Unit Device of Coating Machine[D]. Anhui: Hefei University of Technology,2010.

[20] 穆梓. 用挤出涂布改善产品特性[J]. 国外塑料,2000,18(2):33-34.
MU Zi. Extrusion Coating Expands Property Profile[J]. World Plastics,2000,18(2):33-34.

[21] 张清顺. 锂电池极片的涂布装置及方法:中国, CN102039255A[P]. 2011-05-04.
ZHANG Qing-shun. A Coating Of Device And Method For Pole Piece Of Lithium Batteries: China, CN102039255A[P]. 2011-05-04.

[22] 周祥兴. 挤出涂布复合工艺及挤出复合膜[J]. 中国包装工业,2001,84(7):18-24.
ZHOU Xiang-xing. Extrusion Coating Composite Technology And Extrusion Composite Film [J]. China Packaging Industry,2001,84(7):18-24.

[23] 李路海. 涂布复合技术[M]. 北京:印刷工业出版社, 2011.
LI Lu-hai. Coating composite technology[M]. Beijing: Printing industry press, 2011.

[24] PALEWICZ M. Optical and Structural Study of Thin Film of Polyazomethine with Triphenylamine Unit Prepared Via Spin-coating Method[J]. Polym Bull, 2011(66):65-76.

[25] 熊杰. 一种新型的涂布技术——帘式涂布[J]. 中华纸业, 2004,25(9):29-30.
XIONG Jie. A New Type of Coating Technology-Curtain Coating[J]. China Pulp & Paper Industry, 2004, 25(9):29-30.

[26] 赵德华. 一种新型的涂布技术——Optispray 喷雾涂布[J]. 西南造纸,2003,32(5):44-45.
ZHAO De-hua. A New Type of Coating Technology-Optispray[J]. Southwest Pulp and Paper, 2003, 32(5): 44-45.

[27] 孙来鸿. 非接触式喷雾涂布工艺[J]. 国际造纸,2006,25(1):15-19.
SUN Lai-hong. Introduction of a New Contactless Optispray Coating Method[J]. World Pulp and Paper, 2006, 25(1):15-19.

[28] 黄俊. 流变助剂对高浓涂料流变性及涂层表面性能影响的研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
HUANG Jun. Effects of Rheological Agents on Rheological Behaviors of Coating Colour with High Solid Contents and Surface Performance of Coated White Paper [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.

[29] 陈克复,颜进华. 在高剪切涂布过程中涂料流变性的研究[J]. 中国造纸,1998(1):44-48.
CHEN Ke-fu, YAN Jing-hua. Study of Coating Rheological Properties in High Shear Coating Operation[J]. China Pulp& Paper, 1998(1):44-48.

[30] 曹邦威. 纸张颜料涂布与表面施胶[M]. 北京:中国轻工业出版社,2005.
CAO Bang-wei. Paper Coating Surface Sizing and Pigment[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005.

[31] 张恒. 纳米组分对涂料流变性能及涂布性能的影响及机理研究[D]. 广州:华南理工大学,2004.
ZHANG Heng. The Effects Of Nanometer Components On Rheological Behaviors Of Paper Coating And Coated Paper Properties And Mechanism Research[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2004.