

软包装无溶剂复合技术研究进展

郭鹏飞¹, 付亚波¹, 何昊葳¹, 左津津², 赵有中³, 许文才¹

(1.北京印刷学院 北京市印刷包装材料与技术重点实验室, 北京 102600; 2.广州通泽机械有限公司, 广州 510830; 3.上海康达化工新材料股份有限公司, 上海 201419)

摘要: **目的** 综述软包装无溶剂复合技术在复合设备、胶黏剂和复合工艺等方面的研究进展。**方法** 通过无溶剂复合技术与干式复合技术的对比, 阐述无溶剂复合在工艺流程、复合参数、适用范围和经济效益等方面的特点及优势。介绍目前部分企业的无溶剂复合设备和胶黏剂的发展现状及其国内外科研发方面的研究进展。最后分析当前无溶剂复合技术所面临的问题及挑战, 并提出未来的发展趋势。**结果** 无溶剂复合技术与干式复合技术相比, 不仅在产能方面具有明显的优势, 同时又存在巨大的经济效益与环保特性。**结论** 无溶剂复合工艺因其突出的优势, 符合当前环保的要求, 是今后软包装复合主要的研究发展方向。

关键词: 软包装; 无溶剂复合; 干式复合; 聚氨酯; 胶黏剂

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0044-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.008

Research Progress of Solvent-free Laminating Technology of Flexible Package

GUO Peng-fei¹, FU Ya-bo¹, HE Hao-wei¹, ZUO Jin-jin², ZHAO You-zhong³, XU Wen-cai¹

(1.Beijing Key Lab of Printing & Packaging Materials and Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China; 2.Guangzhou Sinomech Corporation, Guangzhou 510830, China; 3.Shanghai KangDa New Materials Co., Ltd., Shanghai 201419, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the research progress of solvent-free laminating technology of flexible package in respect of laminating equipment, adhesives and laminating technology. The characteristics and advantages of solvent-free laminating in the technological process, laminating parameters, application scope and economic benefit were expounded upon the comparison of solvent-free laminating technology and dry laminating technology. The current development status of solvent-free laminating equipment and adhesive of part of enterprises, and the research progress at home and abroad were introduced. Finally, the problems and challenges faced by the current solvent-free laminating technology were analyzed, and the development trend was proposed. The solvent-free laminating technology had not only obvious advantages in terms of productivity, but also huge economic benefit and environmental protection feature compared with the dry laminating technology. Solvent-free laminating technology is the main research and development direction of flexible package in the future because of its outstanding advantages and compliance with the current requirements of environmental protection.

KEY WORDS: flexible package; solvent-free laminating; dry laminating; polyurethane; adhesive

塑料软包装经过近几年的不断发展, 已经成为包装行业中应用最为广泛的包装方式之一, 其中复合软包装薄膜材料具有性能优良、应用面广、价格便宜等

优势, 被广泛应用于市场上的食品包装、药品包装和化妆品包装等领域^[1]。目前, 国内软包装行业仍主要使用干式复合的方法生产复合膜, 所用到的胶黏剂以

收稿日期: 2017-11-03

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0204200); 北京市协同创新项目 (04190117019)

作者简介: 郭鹏飞 (1992—), 男, 北京印刷学院硕士生, 主攻印刷与包装材料。

通信作者: 付亚波 (1981—), 男, 博士, 北京印刷学院副教授, 主要研究方向为功能包装材料与技术。

溶剂型为主。因干式复合设备存量较大，溶剂型胶黏剂工艺成熟、黏性较高、复合膜制品外观和力学性能优良等优点，在复合膜市场上仍占有较大的份额。

面对当前日益严重的环境问题，节能减排成为包装印刷行业的一个紧迫任务。干式复合技术虽然经过多年的发展已经趋于成熟，但其用到的胶黏剂中存在大量的溶剂，复合过程中溶剂挥发，这不但污染环境，而且对现场操作人员的健康有较大危害，因此降低包装复合过程中的溶剂挥发量和溶剂残留量，既能提高企业效益，又能减少环境污染。

基于这样的背景，无溶剂复合技术呈现出较好的应用前景。所谓无溶剂复合，就是用固含量（不挥发物含量）达到 99% 以上的无溶剂胶黏剂在无溶剂复合机上对底材和面材进行贴合的过程^[2]。无溶剂胶黏剂不使用有机溶剂稀释，可以涂布后直接复合，与无溶剂复合设备配合使用，减少了溶剂烘干的工艺环节。无溶剂复合工艺不仅可节能减排、环保性能优异，而且涂布量少、设备运行稳定，是一种发展前景广阔的复合方式，可用于塑料薄膜、铝箔、纸张之间的复合。此外，“包装印刷无溶剂复合技术”2016 年已被国家环保部列入《国家先进污染防治技术目录（VOCs 防治领域）》目录，是一种可在源头替代 VOCs 排放的环保的软包装复合技术^[3]。

1 无溶剂复合工艺与干式复合工艺的对比

无溶剂复合工艺与干式复合工艺具有较大的差异，文中主要从工艺流程、工艺参数、使用范围和经济效益这 4 个方面对这 2 种工艺进行对比。

1.1 工艺流程

无溶剂复合是利用无溶剂的胶黏剂，将事先准备

好的 2 种基材贴合在一起，然后经熟化处理（化学交联反应），进行软包装材料复合的一种工艺，又称为反应型复合^[4-5]。无溶剂复合与干式复合工艺流程的对比见图 1。干式复合用到的是溶剂型胶黏剂，在生产复合膜过程的涂布后与贴合前，样品需要通过高温烘道，把胶黏剂中的有机溶剂烘干。无溶剂复合工艺用的是无溶剂型胶黏剂，在涂布后不需要烘干处理就可以复合。这个看似微小的过程差异，却能带来巨大的经济与环境效益。

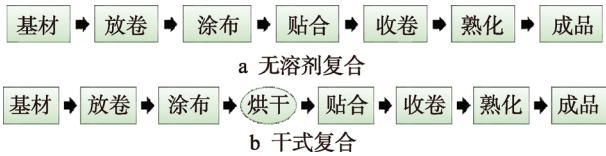


图 1 无溶剂复合和干式复合的工艺流程
Fig.1 Technological proces of solvent-free laminating and dry laminating

1.2 工艺参数

无溶剂复合与干式复合工艺参数的对比见表 1。由于溶剂型胶黏剂中含有大量有机溶剂，因此需要较大的涂布量才能保证有效成分的含量。由于溶剂在烘道挥发过程中需要一定的烘干时间，因此复合速度不能过快，最高复合速度在 150~200 m/min 左右。无溶剂复合由于不存在溶剂，无需烘道干燥，在较低涂布量的情况下能达到较高的复合速度，工业生产复合速度在 400 m/min 左右，最高能达到 500 m/min，部分特殊机型甚至能达到 650 m/min^[6]。另外，无溶剂复合的涂布量通常只有干式复合的一半左右，同时涂布量对收卷整齐度和产品质量有较大的影响，因此无溶剂复合对涂布量精度的控制要求更高，实际涂布量更加准确。

表 1 无溶剂复合与干式复合工艺参数的对比

Tab.1 Comparison of process parameters of solvent-free laminating and dry laminating

项目	涂布量/(g·m ⁻²)	复合速度/(m·min ⁻¹)	固化温度/℃	干燥温度/℃	涂布温度/℃	复合温度/℃	收卷整齐度
干式复合	2~6	150~200	45~55	65~95	常温	55~85	高
无溶剂复合	0.8~3	400	35~45	无	44~55	35~45	中

1.3 使用范围

无溶剂复合的使用范围与干式复合存在一定的差异，但是目前随着技术的不断进步，无溶剂复合生产的软包装产品应用越来越广泛，能够在很多领域代替干式复合。

1) 干式复合由于涂布量较大，常用于复合塑/塑结构，纸/塑复合和纸/纸复合应用得较少。无溶剂复合工艺能够胜任大部分的复合结构，但对 PET 与铝箔复合结构的效果不佳。另外，单组分胶黏剂常用于

纸/塑结构复合，双组分胶黏剂常用于塑/塑结构复合^[7]。

2) 干式复合能够生产用于各种耐高温蒸煮的复合膜，无溶剂复合主要用于干轻包装材料的复合。上海康达化工新材料股份有限公司目前已经生产出能够适应水煮包装和高温蒸煮包装的无溶剂胶黏剂，并已投入市场使用。对于超高温蒸煮的胶黏剂还有许多问题有待解决，需要进行更进一步的研究^[8]。

1.4 经济效益

无溶剂复合由于不需要烘道干燥、胶黏剂中不含

溶剂、复合速度快等特点,与干式复合相比,每年能够为生产单位带来巨大的经济效益^[9]。某公司干式复合与无溶剂复合的对比调研数据见表 2,无溶剂型设备以广州通泽机械公司生产的 SLF1000C 型无溶剂复合机为例,与该单位原有典型的干式复合设备进行对比。通过在 2 台复合机上安装相同规格的电表,测算 2 台设备在相同工作时间下的耗电量情况。通过对比发现,在其他因素相同的情况下,仅仅减少了烘道干燥的步骤,无溶剂复合设备每年就能够节省 90.5% 的电量、98.49% 的溶剂消耗量、4.82% 的胶黏剂消耗

量,以上各项一共节省了 100.84 万元的成本。另外,由于无溶剂复合的工作速度普遍在干式复合的 2 倍左右,因此年生产量相比干式复合增加了 76.13%,具有明显的降低成本和增加产量的效果。

总体来说,无溶剂复合工艺相比干式复合,在大幅增加产能的基础上,能够有效节约成本和消耗。产品的性能已经接近或达到干式复合产品,同时具有无污染、环保的优势。相比之下,无溶剂复合技术是今后软包装复合的发展趋势,具有良好的市场应用前景,有望取代干式复合成为软包装复合的首要选择^[10]。

表 2 典型无溶剂复合与干式复合每年经济效益的对比

Tab.2 Comparison of economic benefits per year of solvent-free laminating and dry laminating

项目	耗电/度	电费/元	溶剂消耗量/kg	溶剂费用/元	胶黏剂消耗量/kg	胶黏剂费用/元
无溶剂设备	31 200	23 400	1545	10 800	65 500	1 637 500
干复设备	327 600	245 700	102 000	714 000	74 800	1 720 400

2 无溶剂复合技术研究进展

早期,无溶剂复合在我国的发展状况不够理想,设备型号有限且依靠国外进口,技术水平不高^[11]。国内市场上起初只有几条无溶剂复合生产线,并且大部分处于停顿或半停顿状态,只有少数几家企业能够正常生产^[12]。近几年来,随着包装印刷产业的快速发展和人才队伍等各方面配套条件的逐渐成熟,无溶剂复合在国内外市场得到了迅速的推广。

2.1 无溶剂复合设备

2.1.1 发展历程

1974 年,德国首先提出了单组分无溶剂复合工艺,并进行了工业生产。随后,无溶剂复合工艺开始在欧洲一些国家得到推广,到 20 世纪 80 年代以后,无溶剂复合工艺呈现出较快的增长态势,而干式复合工艺的所占比例出现了一定的下降^[13]。发展到目前为止,欧美地区有 70%~80% 的复合设备为无溶剂型,且新增的薄膜复合设备中有 93% 以上的均为无溶剂复合设备^[14]。当前欧美地区主要的无溶剂复合机生产制造企业中,较为知名的有意大利的诺德美克公司、Schiavi 公司和 Bielloni 公司,德国的 W&H 公司,法国的 DCM 公司和西班牙的 Comexi 公司等。亚洲地区无溶剂复合技术起步较晚、发展缓慢,但随着人们对环保问题的重视,无溶剂复合技术在亚洲也得到了一定的发展。部分亚洲企业开始独立研发无溶剂复合设备,并投入市场推广使用,例如日本的富士机械工业株式会社等。

我国使用的第 1 台无溶剂复合机是北京市化工研究院在 1985 年从法国 DCM 公司引进的^[15]。目前我国有多个企业进行无溶剂复合机的研发和生产,其

中领军企业为广州通泽机械有限公司,其作为一家专注于无溶剂复合设备研发和生产的国内设备供应商,在无溶剂复合机研发方面有很多技术已处于国际领先地位。该公司生产的标准机型原理见图 2^[16]。

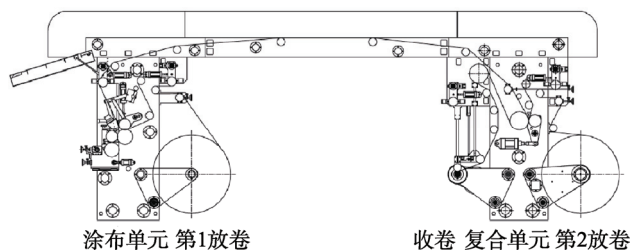


图 2 无溶剂复合机原理

Fig.2 Principle of solvent-free laminating machine

2.1.2 研发进展

目前,中国软包装市场主要以食品包装为主,大约占整个市场需求的 60% 左右,其次是医药和化工行业,占 30% 左右^[17]。食品和药品等的常用软包装材料经常用到复合膜,因此复合机是软包装的必备设备之一。相比欧美等发达地区,我国无溶剂复合设备所占比例较低,但是目前在设备开发方面已经有了重大突破。

设备制造方面,意大利的诺德美克公司是国际上无溶剂复合机行业的领导者,在业内拥有大量专利技术,在意大利市场上达到了 90% 的占有率,早期在我国市场也有很高的占有率^[18]。该公司的 Cerciello^[19]在专利中提到了一种改进的单一驱动型涂布机构,它仅用一个电动机来控制各个涂布辊的转动,更加紧凑且制造更为简单。Cerciello^[20]发明了一种涂布辊自动清洗装置,能够按照程序设定在工作完成后自动洗清辊筒,代替工人作业,减少人工成本,且具有更高的生产效率。

国产无溶剂复合设备从早期的手动上胶、单一简易机型,已经发展到现在的多功能、多用途、配有自动混胶和换卷的多种机型,并且在很多领域已实现领跑^[21]。广州通泽机械有限公司在无溶剂复合机研发方面处于行业引领地位,其设备型号包括 SLF-A 系列标准型无溶剂复合机、SLP-A 系列纸塑型无溶剂复合机和 SLF-AT 系列双工位无溶剂型复合机。部分机型能够分别达到最高 600 m/min 以上的复合速度,满足 1000~1600 mm 不同幅宽的基材,实现 3 层复合、双工位自动不停机接料等不同功能^[22]。

在设备的工艺控制研发方面,吕玲等^[23]主要研究了无溶剂复合设备的涂布系统,阐述了影响无溶剂复合精密涂布的因素以及涂布量的计算过程,并通过正交实验优化设计分析出计量钢辊与匀胶胶辊的速比和存胶钢辊与计量钢辊的间隙是影响涂布量精度的主要因素。通过实验归纳各个影响因素之间的变化规律,建立数学模型,并提出无溶剂复合设备涂胶量精确控制的实施方案。柯星昌^[24]以提高机器速度、精度和稳定性为根本出发点,在旧式设备的基础上进行技术更新,主要进行了从结构和控制两方面对机器的优化设计。张建昌^[25]研究了双工位无溶剂复合机的特点及优势,将其与单工位无溶剂复合机进行对比,阐述了双工位设备具有自动化程度更高、生产效率更高、整体布局更加合理等优势。

2.2 无溶剂胶黏剂

2.2.1 发展历程

高分子胶黏剂的研究发展由来已久,早期的溶剂型胶黏剂是将黏性聚合物溶解于易挥发的有机溶剂中,使用时通过加热将溶剂挥发掉,留下胶黏剂的成分起到贴合作用^[26]。由于大量的有机溶剂挥发进入大气造成环境污染的问题,无溶剂型胶黏剂的研发逐渐被重视。聚氨酯型无溶剂胶黏剂是最常用到的无溶剂型胶黏剂,约占到了总量的 90%以上^[27]。聚氨酯高分子结构中存在极性很强、化学活泼性很高的异氰酸酯基(—NCO)和氨基(—NHCOO—),能够与其他材料的表面形成氢键作用从而产生粘合力^[28]。自 1974 年德国 Herberts 公司第 1 次将聚氨酯无溶剂胶黏剂应用到薄膜复合包装材料以来,因其复合工艺的经济性、安全性、对环境的无污染性等优点而倍受人们的青睐^[29]。

无溶剂聚氨酯胶黏剂经过不断的发展,产品性能也得到不断的改进。早期的第 1 代聚氨酯胶黏剂是单组分湿固化型,主要依靠环境中的水分跟分子内部的异氰酸根反应而固化。由于该类型的胶黏剂固化速度较慢,并且在固化过程中会放出 CO₂,所以一般用于纸张或纸/塑之间的复合^[30]。第 2 代双组分胶黏剂是由 2 种成分反应形成,将 2 种组分按照一定的比例混

合,其分子结构中的羟基(—OH)和异氰酸酯基(—NCO)发生交联固化反应。第 2 代胶黏剂显著提高了黏性,固化过程中不产生 CO₂,但是仍存在初黏力低,不能耐高温蒸煮的缺点^[31—32]。在第 2 代基础上发展起来的第 3 代聚氨酯无溶剂胶黏剂是第 2 代的改良版,第 3 代提高了耐高温蒸煮性能,进一步提升了剥离性能和热封性能^[33]。

2.2.2 研发进展

国外无溶剂胶黏剂的研发生产单位中,德国 Henkel 公司、法国 Bostik 公司均为世界 500 强企业,另外比较知名的有美国 Fuller 公司、意大利 Coim 公司。中国在无溶剂胶黏剂方面起步较晚,为了改变聚氨酯无溶剂胶黏剂一直依靠进口的局面,无溶剂胶黏剂的研发工作也越来越受到重视,发展迅速。

国内目前能够稳定生产并销售无溶剂胶黏剂的企业有上海康达化工新材料等公司^[34]。该公司生产的胶黏剂中,通用型“1”系列产品适合各种干轻软包装材料的复合,适应机速范围为 200~400 m/min,能够很好地解决无溶剂复合对 PE 摩擦因数的影响;蒸煮型“5”系列产品能够耐 121 °C 蒸煮,具有高剥离强度;纸塑型“9”系列产品适合纸/薄膜及纸/铝之间的复合;功能型“85”系列产品适合于织物面料与塑料薄膜的复合^[35]。

研发方面,王宇奇^[36]等以蓖麻油基多元醇为原料对脂肪族聚氨酯胶黏剂进行改性,在—NCO 和—OH 的摩尔比为 1.3~1.5 时制备的聚氨酯胶黏剂表现出最佳的力学拉伸性能及剥离性能。高巧侠^[37]对聚氨酯胶黏剂的合成工艺进行了优化,用响应面分析的方法研究预聚物、改性剂、增韧剂的不同比例对粘度的影响。结果表明,三者的质量比为 47.24:6.24:5.84 时,胶黏剂具有较高的粘度,超过了理论的预测值。赵潇^[38]等研究聚氨酯胶黏剂 A/B 组分中 B 组分对固化反应动力学及剪切强度的影响。结果表明,增加 B 组分中聚醚三醇的比例,胶黏剂的固化表观活化能和贴合铝片的剪切强度呈现出先增后降的趋势,且在聚醚二醇和聚醚三醇羟基摩尔比为 2:0.8 时具有最大的剪切强度。

Anjan 和 Annu^[39]进行了软包装复合的适应性研究,结果表明,不同产品的复合适性取决于包装内产品的性能。选择复合工艺前须检查产品性能和工艺特性(如使用的胶黏剂、固化时间、溶剂等),再根据这些因素判断是否可以应用无溶剂复合。Schreiber^[40]等发明了一种用于彩色铝箔和薄膜材料复合的无溶剂胶黏剂,其具有优良的耐热性和流平性,在复合后能够保持较高的稳定性,且不会使基材褪色。Uemura^[41]等研发了多异氰酸酯组分和多元醇组分不同配比的无溶剂复合胶黏剂,两组分在混合 3 min 后

能够达到 500~1000 mPa·s 的初始粘度,并且在 20 min 后粘度可以增大到初始值的 100%~350%。

3 目前存在的问题及解决方案

近几年,可无溶剂复合的优势已被越来越多的企业所认可,用来逐渐替代现有的干式复合技术。经过多年的发展,无溶剂复合技术在一些应用领域中仍存在以下困扰行业进一步发展的关键性问题有待解决。文中列出当前无溶剂复合技术的一些问题以及解决措施。

3.1 斑点问题

印刷有白色油墨的薄膜与镀铝膜复合时(例如 BOPET 与 VMCPP),可能会由于油墨质量与胶黏剂的相容性问题,致使复合膜表面产生白色斑点等外观问题。造成这一现象的原因可能是油墨与胶黏剂的相容性不好、复合时收卷压力太小、涂布量不足致使胶黏剂分散不均匀等^[42]。可以通过更换或调剂油墨与胶黏剂的相容性、调整复合压力以及增大涂布量和涂布均匀性的途径解决。

3.2 气泡问题

造成无溶剂复合膜层间气泡问题的原因较多,例如基材的透过性较差,造成胶黏剂固化过程中产生的气泡不能及时排出。复合工作环境的相对湿度较高,致使胶黏剂中掺入过多的水分;复合机设置的复合压力和收卷张力太小,导致胶黏剂涂布不均或薄膜没有收紧。合理的解决方案有研发性能更优的无溶剂胶黏剂、采用阻隔性适宜的薄膜、利用除湿工具降低车间内的湿度、调节适当的复合压力和收卷张力^[43]。

3.3 镀铝转移问题

镀铝膜经复合后,在固化阶段可能出现镀铝层转移至非镀铝膜层的现象,导致成品的剥离强度降低。这一现象主要是由镀铝层贴合牢度不足或镀铝层与印刷油墨发生反应等引起的,可以通过降低固化室的温度、改变胶黏剂中 A 与 B 组分比例、增强镀铝层的牢度等方法解决^[44]。

3.4 摩擦因数问题

复合膜表面摩擦因数主要影响其爽滑性,例如 PE 薄膜中添加的爽滑剂容易在较高温度下向薄膜材料迁移,并与聚氨酯无溶剂胶黏剂发生反应,导致薄膜表面摩擦因数变大^[45]。赵素芬等^[46]针对这一问题进行的研究表明,改善无溶剂复合摩擦因数可以从改进爽滑剂配方、热封膜结构及无溶剂复合工艺等方面着手,使无溶剂复合产品的摩擦因数控制在 0.25 以下,从而满足包装膜高速复合工艺的需要。

4 无溶剂复合技术发展趋势

从目前无溶剂复合技术存在的问题可以看出,未来的发展趋势主要在于解决上述弊端,朝着自动化、高效化和智能化的方向发展。在设备方面,涂布系统与张力系统的控制更加精准,高精度的控制系统将是未来的发展方向^[47—48];复合速度将得到进一步提升,复合设备的操作将会更加方便,换卷、接料、清洁辊筒能够用机器代替人工操作。在胶黏剂方面,对聚氨酯胶黏剂改性以达到不同的用途是未来的研究方向,如高剥离强度型、耐高温蒸煮型胶黏剂的研发。另外,无溶剂复合相关国家和行业标准的制订也是推动国内企业进步和行业发展的重要因素。

5 结语

无溶剂复合技术与干式复合相比,可在提高产能的情况下,又带来巨大的经济效益和环保特性,是今后软包装复合的首选工艺。近几年经过国内外专家学者和业内领头企业的广泛研究,已经取得了较为显著的成果,但仍然有斑点、气泡、镀铝转移和摩擦因数等诸多问题有待解决,同时自动化、高效化和智能化将是今后研究和发展的重点方向。

参考文献:

- [1] 岳花娟. 关于塑料软包装结构的设计研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(4): 142—145.
YUE Hua-juan. Structural Design of Plastic Flexible Packaging[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(4): 142—145.
- [2] 贾春江. 无溶剂复合技术的现状与未来[J]. 中国包装工业, 2013(10): 88—89.
JIA Chun-jiang. Present and Future Situation of Solvent-free Composite Technology[J]. China Packaging Industry, 2013(10): 88—89.
- [3] 申桂英. 2016 年《国家先进污染防治技术目录(VOCs 防治领域)》发布[J]. 精细与专用化学品, 2017(1): 51—51.
SHEN Gui-ying. The "National Advanced Pollution Control Technology (VOCs Control) Directory" Released in 2016[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2017(1): 51—51.
- [4] CHEN S L, CHEN G X, CHEN Q F, et al. The Preparation of Solvent-free Polyurethane Laminating Adhesive with Mixed-polyols[J]. Advanced Materials Research, 2012, 549: 177—182.
- [5] 汪阳. 软包装用无溶剂类双组份聚氨酯胶黏剂的合成研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
WANG Yang. Study on Synthesis of Solvent-free Two-component Polyurethane Adhesive for Flexible

- Packaging[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [6] 段婷婷. 无溶剂复合机类型及张力控制要点[J]. 印刷技术, 2015(8): 41—43.
DUAN Ting-ting. Solventless Laminating Machine Type and Tension Control Points[J]. Printing Technology, 2015(8): 41—43.
- [7] 左光申. 无溶剂复合工艺与干式复合工艺应用差异谈[J]. 印刷技术, 2011(24): 18—19.
ZUO Guang-shen. Differences between Solventless and Dry Compounding Process[J]. Printing Technology, 2011(24): 18—19.
- [8] 肖海依. 耐高温蒸煮袋的生产技术与应用[C]// 中国包装技术协会塑料包装委员会年会暨塑料包装新技术研讨会, 2002.
XIAO Hai-yi. Production Technology and Application of High Temperature Steam-cooking Bag[C]// China Packaging Technology Association Plastics Packaging Committee Annual Meeting and Plastic Packaging Technology Seminar, 2002.
- [9] 吕玲, 高德, 许文才, 等. 无溶剂复合技术的特点及相关设备结构分析[J]. 中国塑料, 2010(10): 9—16.
LYU Ling, GAO De, XU Wen-cai, et al. Characteristics of Solventless Lamination Technology and Structure of Equipment Associated with It[J]. China Plastics, 2010(10): 9—16.
- [10] 叶青莹. 软包装用聚氨酯胶黏剂发展近况[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2011, 9(1): 21—30.
YE Qing-xuan. Recent Development Status of Polyurethane Adhesives for Flexible Package[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2011, 9(1): 21—30.
- [11] 沈峰. 国内软包装复合粘合剂现状及发展趋势[J]. 塑料包装, 2010, 20(5): 12—16.
SHEN Feng. Current Status and Development Trend of Domestic Flexible Packaging Compound Adhesives[J]. Plastics Packaging, 2010, 20(5): 12—16.
- [12] 李鲜英. 双组份高强度聚氨酯胶粘剂的研制及应用[J]. 山西化工, 2016, 36(5): 40—42.
LI Xian-ying. The Development and Application of Two Component and High Strength Polyurethane Adhesive[J]. Shanxi Chemical Industry, 2016, 36(5): 40—42.
- [13] 陈昌杰. 解读无溶剂复合[J]. 塑料包装, 2008, 18(5): 27—32.
CHEN Chang-jie. Interpretation of Solvent-free Composite[J]. Plastics Packaging, 2008, 18(5): 27—32.
- [14] SIMONS J B, RAMALINGAM B, SOMMERFELD E G. Two Component Solventless Polyurethane Laminating Adhesives Based on 1, 4: 3, 6 Dianhydrohexitols: US, WO/2008/019215[P]. 2008-02-14.
- [15] 张仲实. 无溶剂复合设备及工艺[J]. 国外塑料, 2009, 27(10): 42—45.
ZHANG Zhong-shi. Solvent Free Lamination Application and Products[J]. World Plastics, 2009, 27(10): 42—45.
- [16] 左光申. 无溶剂复合如何抗衡干式复合: 相关技术的发展已经使无溶剂复合技术得到全面提升[J]. 印刷技术, 2010(8): 11—12.
ZUO Guang-shen. How Solvent-free Composite to Counter Dry-type Composite: the Development of Related Technologies has Led to a Comprehensive Improvement in Solvent-free Composite Technology[J]. Printing Technology, 2010(8): 11—12.
- [17] 席云福. 食品软包装材料及其发展趋势[J]. 印刷技术, 2011(16): 23—24.
XI Yun-fu. Food Flexible Packaging Materials and Its Development Trend[J]. Printing Technology, 2011(16): 23—24.
- [18] 马平东. 软包装新技术的开发与推广应用[J]. 印刷技术, 2014(14): 42—44.
MA Ping-dong. Development and Application of New Flexible Packaging Technology[J]. Printing Technology, 2014(14): 42—44.
- [19] CERCIELLO A. Adhesive-spreading Unit, in Particular for Bonding Machines: US, 7814860[P]. 2010.
- [20] CERCIELLO A. Adhesive Spreading Unit Provided with a Roller-cleaning Device: US, WO/2013/108205[P]. 2013.
- [21] 赵有中. 无溶剂复合的优势及最新研究进展[J]. 粘接, 2014, 35(10): 88—91.
ZHAO You-zhong. Superiorities and Recent Research Advances of Solventless Lamination[J]. Adhesion in China, 2014, 35(10): 88—91.
- [22] 左光申. 我国无溶剂复合的最新应用现状与发展趋势[J]. 塑料包装, 2017, 27(2): 53—58.
ZUO Guang-shen. The Latest Application Status and Development Trend of Solvent Free Composite in China[J]. Plastics Packaging, 2017, 27(2): 53—58.
- [23] 吕玲. 无溶剂复合涂布系统的特性研究与优化设计[D]. 北京: 北京印刷学院, 2011.
LYU Ling. Characteristics Research and Optimization Design about Coating System of Solventfree Laminate[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2011.
- [24] 柯星昌. 无溶剂涂布复合机的设计与研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
KE Xing-chang. Design and Research on Solvent-free Coating and Compound Machine[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [25] 张建昌, 田峰. 双工位无溶剂复合的优势及发展[J]. 印刷技术, 2016(10): 44—46.
ZHANG Jian-chang, TIAN Feng. Advantage and Development of Duplex Solventless Compounding[J]. Printing Technology, 2016(10): 44—46.
- [26] 龙来早, 邹金鑫, 龚雪冰, 等. 改性聚氨酯无溶剂胶黏剂研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43(6): 101—102.
LONG Lai-zao, ZOU Jin-xin, GONG Xue-bing, et al. Progress in Modified Polyurethane Solvent-free Adhesive Study[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016,

- 43(6): 101—102.
- [27] 杨俊香. 无溶剂双组份聚氨酯胶粘剂的制备与性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
YANG Jun-xiang. Study on Preparation and Properties of Solvent-free Two-component Polyurethane Adhesive[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014.
- [28] 袁晓玲. 无溶剂型双组份聚氨酯胶粘剂的制备与研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2010.
YUAN Xiao-ling. Study on Preparation of Two-component Solvent-free Polyurethane Adhesive[D]. Liuzhou: Guangxi University of Science and Technology, 2010.
- [29] 袁新兵. 软包装复合用无溶剂聚氨酯胶粘剂的发展概况[J]. 聚氨酯工业, 2013, 28(4): 5—7.
YUAN Xin-bing. Development Profile of Solvent-free PU Laminating Adhesive for Flexible Package[J]. Polyurethane Industry, 2013, 28(4): 5—7.
- [30] 韩建祥, 胡孝勇, 郑友明, 等. 无溶剂型单组份聚氨酯胶粘剂的研制[J]. 中国胶粘剂, 2012(8): 41—44.
HAN Jian-xiang, HU Xiao-yong, ZHENG You-ming, et al. Preparation of Solvent Free Type Single Component Polyurethane Adhesive[J]. China Adhesives, 2012(8): 41—44.
- [31] BRIGGS P C, MINATO M, OSAE S B. Adhesives for Bonding Composites: US, 6852801[P]. 2005-05-15.
- [32] 陈双莲. 双组分无溶剂复合胶粘剂的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
CHEN Shuang-lian. Study on Preparation and Performance of Two-Component Solvent-free Laminating Adhesives[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [33] 任清刚, 吴伟卿, 唐敏锋, 等. 聚氨酯类压敏胶的应用研究进展[J]. 中国胶粘剂, 2013(11): 55—58.
REN Qing-gang, WU Wei-qing, TANG Min-feng, et al. Research Progress of Pressure-sensitive Adhesives[J]. China Adhesives, 2013(11): 55—58.
- [34] 赵有中. 软包装用无溶剂聚氨酯胶粘剂的研制[J]. 上海化工, 2013, 38(7): 10—13.
ZHAO You-zhong. Research of Solventless Polyurethane Adhesive for Flexible Packaging[J]. Shanghai Chemical Industry, 2013, 38(7): 10—13.
- [35] 赵有中. 无溶剂胶黏剂最新研究进展及未来之路[J]. 印刷技术, 2014(24): 27—29.
ZHAO You-zhong. Recent and Future Research Progress of Solventless Adhesives[J]. Printing Technology, 2014(24): 27—29.
- [36] 王宇奇, 张萍波, 蒋平平, 等. 蓖麻油基多元醇改性聚氨酯胶黏剂的研究[J]. 中国塑料, 2015, 29(8): 91—97.
WANG Yu-qi, ZHANG Ping-bo, JIANG Ping-ping, et al. Study of Polyurethane Adhesives Made from Modified Castor-oil-based Polyols[J]. China Plastics, 2015, 29(8): 91—97.
- [37] 高巧侠. 水溶性聚氨酯胶黏剂制备工艺优化[J]. 包装工程, 2016, 37(19): 69—73.
GAO Qiao-xia. Optimization of Preparation Technology of Waterborne Polyurethane Adhesive[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(19): 69—73.
- [38] 赵潇, 张墩明, 杨昌正. 无溶剂型双组分聚氨酯胶黏剂的固化研究[J]. 聚氨酯工业, 2016, 31(2): 5—8.
ZHAO Xiao, ZHANG Dun-ming, YANG Chang-zheng. Study in Curing Properties of Two-component Solvent-free Polyurethane Adhesive[J]. Polyurethane Industry, 2016, 31(2): 5—8.
- [39] ANJAN B, ANNU R. Lamination Suitability for Flexible Packaging Application (A Case Study of "UFLEX Ltd", Noida)[J]. International Journal of Engineering Research, 2015, 4(5): 228—230.
- [40] SCHREIBER P, HUERTER H U, PUL O, et al. Solvent-free Laminating Adhesive: US, WO/2008/058703[P]. 2008-05-22.
- [41] UEMURA T, SASANO S, KATAOKA Y. Solventless Laminating Adhesive and Process for Production of Composite Film: US, 8377508[P]. 2013-02-19.
- [42] 刘秉舜. 无溶剂复合工艺控制要点及常见问题分析[N]. 中国包装报, 2008-09-22(007).
LIU Bing-shun. Key Points of Solvent-free Compound Process Control and Analysis of Common Problems[N]. China Packaging News, 2008-09-22(007).
- [43] 赵新峰, 张晓凯. PVDC 无溶剂复合工艺控制及常见问题探析[J]. 塑料包装, 2008(5): 16—20.
ZHAO Xin-feng, ZHANG Xiao-kai. Control of PVDC Solventless Compound Process and Analysis of Common Problems[J]. Plastics Packaging, 2008(5): 16—20.
- [44] 左光申. 无溶剂复合常见故障分析与解决[J]. 印刷技术, 2015(12): 47—48.
ZUO Guang-shen. Analysis and Solution of Common Faults of Solvent-free Complex[J]. Printing Technology, 2015(12): 47—48.
- [45] CHEN S L, CHEN G X, CHEN Q F, et al. The Preparation of Solvent-free Polyurethane Laminating Adhesive with Mixed-polyols[J]. Advanced Materials Research, 2012, 549: 177—182.
- [46] 赵素芬, 刘晓艳, 潘斌, 等. 浅析无溶剂复合产品摩擦因数的变化[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 56—58.
ZHAO Su-fen, LIU Xiao-yan, PAN Bin, et al. Variation of Friction Coefficient of Solvent-free Composite Products[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 56—58.
- [47] 庞少朋, 韩武. 涂布机张力的检测与控制[J]. 印刷技术, 2016(4): 52—53.
PANG Shao-peng, HAN Wu. Tension Detection and Control of Coating Machine[J]. Printing Technology, 2016(4): 52—53.
- [48] 贾春迎. 基于 ARM 的无溶剂复合机张力控制系统的研究[D]. 上海: 上海工程技术大学, 2016.
JIA Chun-ying. The Study of Solventless Laminating Machine Tension Control System Based on ARM[D]. Shanghai: Shanghai University of Engineering Science, 2016.