# 纸浆模塑产品的功能化改性、生产实践及创新应用

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2026.3004

贾郑雷[1] 单 鹏[2]
黄理文[1] 张稼良[1]
黄俊彦[3] 王海松[2]

1. 河南中烟工业有限责任公司
河南 郑州 450003
2. 大连工业大学
轻工与化学工程学院
辽宁 大连 116034
3. 中国包装联合会纸浆模塑
包装专业委员会秘书处
辽宁 大连 116034

**摘 要：**在“双碳”战略与“禁塑”政策的驱动下，纸浆模塑因原料可再生、可降解、加工能耗低，成为替代塑料包装的重要路径。通过纤维原料选择与复配、打浆与模压参数调控、浆内添加助剂及表面涂布等手段，可对纸浆模塑进行功能化改性，从而提升其力学强度、抗水性、阻隔性、印刷适性和防伪功能。同时，从工艺参数协同优化到自动化与智能控制的引入，有助提升产品质量和能效。目前，纸浆模塑在 3C 产品、日化用品、烟草、食品、农业等领域得到广泛应用。纸浆模塑产品的功能化改性，使其成为传统塑料包装材料的绿色替代方案，助力行业向低碳方向转型。

**关键词：**纸浆模塑；功能化改性；抗水；阻隔性；防伪
**中图分类号：**TB484.1；TS206 **文献标志码：**A
**文章编号：**1674-7100(2026)03-0034-11
**引文格式：**贾郑雷，单 鹏，黄理文，等 . 纸浆模塑产品的功能化改性、生产实践及创新应用 [J]. 包装学报，2026，18(3)：34-44.

近几年，纸浆模塑生产技术突飞猛进，新产品不断推向市场，特别是在全球实施“禁塑”的背景下，纸浆模塑行业以每年超过 30% 的速度增长 [1]。纸浆模塑产品以其原料来源广泛、可再生的资源优势，可完全降解的环境优势，以及良好的防震、抗冲击、防静电、防腐蚀效果，正被各行业探索用于多样化产品包装的可能性 [2]。目前，苹果、微软、三星、索尼、惠普、戴尔等一批国际品牌企业以及华为、小米、联想、小鹏等国内品牌企业都已将纸浆模塑材料代替塑料用作产品包装或衬垫 [3-4]。然而在不同行业的应用中，对纸浆模塑产品的外观、强度、阻隔、抗水等性能会有不同的要求。例如，纸浆模塑餐具需要具备良好的卫生性和耐油性 [5]，纸浆模塑用作精密电子产品、保健品、化妆品等产品的包装则需具有良好的密封性和洁净度 [6]，而纸浆模塑作为物流包装内的缓冲结构则需具备良好的缓冲性能，作为外包装则需具备良好的抗冲击、抗弯强度等。因此，针对不同的应用场景，纸浆模塑需要在原料或产品表面进行改性，以提高综合性能。因此，本文系统梳理近年来纸浆模塑功能化改性的研究进展，归纳其在不同领域的应用现状，并对未来纸浆模塑产品的发展趋势进行展望。

## 1 纸浆模塑的功能化改性

### 1.1 力学强度

随着纸浆模塑应用范围的扩大及场景多元化，对产品性能的要求越来越苛刻，特别是对抗压、抗弯、抗冲击与尺寸稳定性等方面的性能要求显著提高。提高纸浆模塑产品的力学性能，可以从原料界面增强、工艺致密化、结构优化与缺陷控制等方面协同推进（如图 1 所示）。提高纤维间结合与界面稳定性最有

**收稿日期：**2025-11-05
**基金项目：**河南中烟工业有限责任公司科技项目（AW2024037）
**作者简介：**贾郑雷，男，高级工程师，主要从事绿色环保卷烟材料研究，E-mail：jzljyc@163.com
**通信作者：**王海松，男，教授，博士生导师，主要从事生物基纤维材料与化学品研究，E-mail：wanghs@dlpu.edu.cn

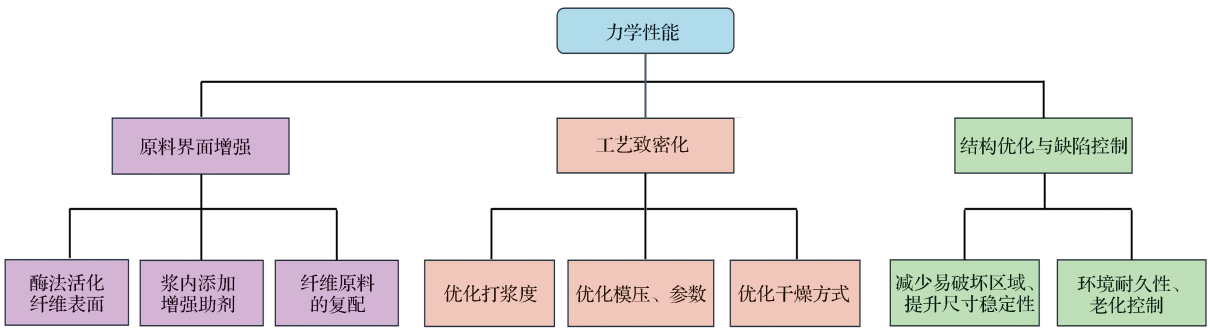


**图 1　纸浆模塑力学性能提高的方法及机理示意图**

**Fig. 1　Diagram of methods and mechanism of improving mechanical properties of pulp molding**

效的方法是对纸浆原料进行化学或生物改性。工艺致密化可以提高纤维的有效接触面积和程度、改善结构均匀性和尺寸稳定性。结构优化与缺陷控制则侧重于减少薄弱部位和易破坏区域，提升尺寸稳定性，从整体上改善产品强度 [7]。需要强调的是，任何单一因素的提升都可能因其他环节的波动而被削弱甚至抵消，因此应通过原料、工艺与结构的系统协同来实现力学强度的稳定提升。

已有研究围绕原料改性、环境适应性及助剂增强等方面开展了大量探索，为纸浆模塑材料强度提升提供了重要的理论依据和实践参考。陆新宗等 [8] 的研究表明，在适宜的条件下，用漆酶介体体系对浆料进行处理，能够有效暴露更多具有反应活性的羟基，进而改善纸浆模塑包装材料的力学强度。田章等 [9] 研究了温度、湿度和紫外线照射对脱木素和未脱木素纸浆模塑材料性能的影响。结果表明，3 种环境因素均会导致材料力学性能下降。这是因为环境变化使纤维发生老化（即角质化），减少了表面活性羟基的数量，进而降低了材料的力学强度。其中，湿度对力学强度的影响最为显著，温度次之，紫外老化影响相对较小。相比未脱木素材料，脱木素纸浆模塑材料在各老化条件下表现出更高的力学强度保持率和更优的抗紫外老化能力。岑蕾等 [10] 以原生纸浆为原料，考察浆内添加各类助剂对纸浆模塑产品耐破度、撕裂度及抗张强度等性能的影响。结果表明，浆内添加阳离子淀粉（CS）、聚乙烯醇（PVA）、阳离子聚丙烯酰胺（CPAM）和羧甲基纤维素（CMC）均能显著提高产品的强度。当添加 CS 1.4%、PVA 0.6%、CPAM 0.05%、CMC 0.8% 时，纸浆模塑试样的性能最佳，耐破度 52.76 KPa/cm$^2$、撕裂度 1405 mN、抗张强度 5.51 N/mm。

优化打浆度、模压参数、干燥方式等工艺过程也是提高纸浆模塑产品力学强度的有效方法。姚培培等 [11] 研究了在不同打浆度、干燥温度和压力条件下，热压干燥与真空干燥方式对纸浆模塑材料力学强度的影响。结果表明，打浆度、干燥温度和压力对材料强度具有显著作用；在相同工艺条件下，采用热压干燥所得纸浆模塑试样的力学强度明显高于真空干燥试样，这说明热压干燥更有利于获得高强度纸浆模塑制品。程芸等 [12] 系统地探讨了针叶木浆、阔叶木浆、蔗渣浆、竹浆等 4 种纤维原料的特性、打浆适应性、外添助剂及模压参数等对食品包装纸浆模塑材料力学性能的影响。研究发现，与 100% 蔗渣浆相比，添加一定量的漂白化学竹浆、漂白化学针叶木浆、漂白化机阔叶木浆均能提升纸浆模塑材料的力学强度，其中阔叶木浆与蔗渣浆之间存在协同增效作用，阔叶木浆与蔗渣浆以 1:1 复配时，纸浆模塑材料的抗张指数、耐破指数和挺度分别提高了 22.0%、65.8%、12.4%。外添助剂也能在一定程度上增加纸浆模塑产品的力学强度。相较于未添加助剂的蔗渣浆模塑材料，改性淀粉的增强效果最好，抗张指数、耐破指数、挺度分别增长了 15.3%、28.3%、9.8%。可见，通过复配不同来源的纤维原料，并结合优化打浆条件和外添增强助剂的协同作用，可以在不显著增加原料成本的前提下显著提升纸浆模塑材料的抗张强度、耐破度及挺度等关键力学指标。这为获得高性能食品包装纸浆模塑材料提供了一种有效技术路径。

### 1.2　抗水性

增强纸浆模塑的抗水性，对其在各领域中的应用至关重要，特别是在食品包装、餐具餐盒等应用场景中。具有卓越抗水性的纸浆模塑产品，与当下“代塑”“减碳”要求相契合，具有良好的发展前景 [13]。然而，传统纸浆模塑制品的孔隙结构连通且纤维组分亲水，水分容易快速渗入，从而引发吸水膨胀与软化，进而增加霉变风险，导致力学性能在短时间内显著衰

减。抗水性的提升可借助多尺度协同调控来实现（如图 2 所示）：一方面，在浆内对原料进行疏水化调控，以维持湿态强度；另一方面，通过构建表面阻隔层，同时配合孔隙封闭与扩散路径调控，延缓水分渗透过程，达到抗水防潮的效果。此外，这些策略在实施过程中还必须充分考虑材料的可降解性、食品接触安全性以及回收友好性等因素，实现性能提升与绿色可持续之间的平衡 [14]。

传统提高纸浆模塑抗水性的方法为使用石蜡或聚乙烯醇施胶或涂布。该类助剂来源于不可再生的化石原料，不仅成本高，环压强度提升效果也不明显。此外，废纸纤维重复使用后，以废纸浆为原料制备的包装，其环压强度难以满足使用要求，尤其在我国南方等高湿度地区，极易发生塌陷现象。研究表明，CMC 涂布形成的致密网络结构可以显著改善产品的环压强度和抗水性，但其成本问题限制了规模化应用。基于此，大连工业大学生物基纤维材料与造纸化学品团队创新地以主要成分为纤维素和残余淀粉的木薯渣为原料，采用溶媒法制备 CMC 和羧甲基淀粉（CMS）[15]：在质量分数为 5% 的氢氧化钠中，75 ℃处理木薯渣 2 h，按氢氧化钠、氯乙酸、木薯渣质量比 1:1:1 进行碱化醚化反应 2 h，得到取代度为 0.51 的 CMC 和 CMS；再与淀粉按质量比 10:1 混合熬制，得到质量分数为 6% 的施胶淀粉溶液，对定量为 112 g/m$^2$ 的废纸基包装材料进行表面施胶。施胶后，产品 Cobb 值和环压指数分别为 26.3 g/m$^2$ 和 8.1 N·m/g，比未加入衍生化木薯渣的淀粉空白样分别改善了 36.3% 和 32.8%。可见，废弃物木薯渣中纤维素和淀粉的改性综合利用，是一种低成本且提高包装材料环压强度和抗水性的新方法，能有效解决环境污染问题，提高企业的经济效益，具有较高的应用价值。

为了进一步改善纤维材料的疏水性及生产可行性，该团队 [16] 以造纸中常用的中性施胶剂烷基烯酮二聚体（AKD）水性乳液为基础，巧妙地利用烷基硅烷改性剂（DTMS）和 AKD 之间相似结构的相容性、疏水相互作用和分子间范德华力 [17-18]，成功制备了一种全新的水系、无氟超疏水涂料，并通过喷涂、浸涂或表面施胶等方式涂覆于产品表面。结果表明，在涂覆量较少（<2 g/m$^2$）、105 ℃干燥条件下，产品可获得水接触角（162.3 ± 1.5）°、滑动角（1.5 ± 0.8）°的超疏水性能，同时具有良好的耐高温、耐摩擦、疏水稳定性，并实现了酸奶完全不粘附的效果。该方法不仅生产可行性强，制备的超疏水表面在纸吸管、液体包装、纸浆模塑等植物纤维代塑材料中表现出良好的应用前景。

### 1.3 气体阻隔性

传统纸基包装材料和纸浆模塑产品是由植物纤维经过制浆、调制、抄造、加工而成的，与塑料相比，其气体阻隔性较差。针对这一问题，已有研究从不同方面提出了多种改进思路。借助带电界面与层状纳米片构建致密功能层，以延长气体扩散路径，提高阻隔性。Li Y. F. 等 [19] 以纸基纤维表面羟基所带的负电荷为基底，利用 CPAM 氨基正电荷 / 氧化石墨烯（GO）羧基负电荷的层层自组装技术，在多孔的滤纸基材上制备了具有较高阻隔性的纸基包装材料。与原始滤纸相比，纤维材料透气度降低了 99.99%。另一种

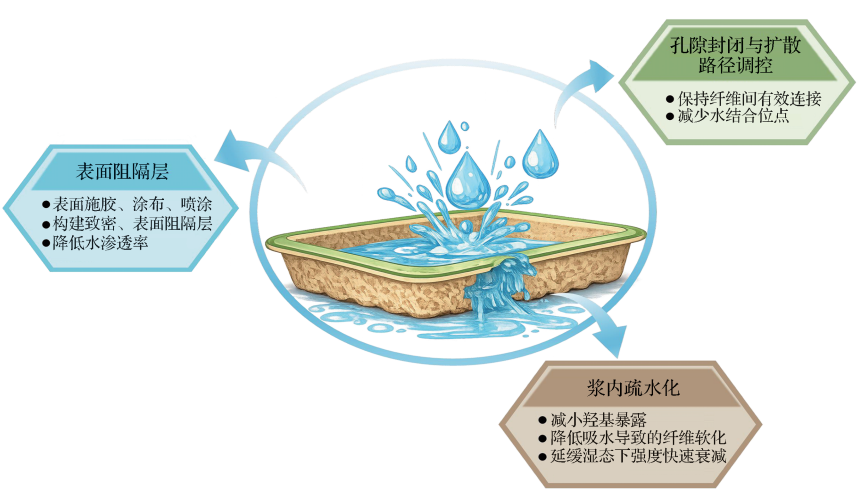


**图 2 提高纸浆模塑抗水性的方法及机理示意图**

**Fig. 2 Diagram of methods and mechanism of improving water-resistance of pulp molding**

思路是以生物基成膜材料构建复合涂层或薄膜，通过成膜致密化、相容性调控与缺陷抑制来降低渗透通道，提高阻隔性。Zhou H. M. 等[20]以醋酸纤维素（CA）为原料、甘油为增塑剂、壳聚糖和二氧化硅为添加剂，采用流延法制备了一种抗水、阻氧涂料。当加入壳聚糖的质量分数为 15% 时，CA 复合膜的氧气透过率为 13.2 $cm^3$·μm/($m^2$·d·kPa)，相比空白样，降低了 83.5%（见图 3[20]）。该研究为提高植物纤维基多孔材料的阻隔性提供了借鉴。

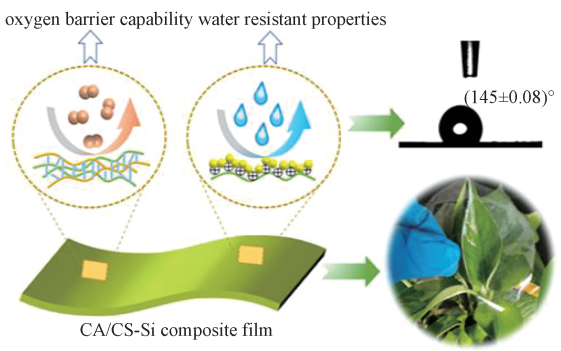


**图 3　CA/CS-Si 复合膜抗水、阻氧的机理**

**Fig. 3　Schematic illustration of the water-resistence and oxygen-barrier mechanism of CA/CS-Si composite films**

另外，Zhou H. M. 等[21]还通过两端“分子胶”连接和有针对性的纳米修补协同策略，精确定制了具有高气体阻隔性的 CA/PEI/ 还原氧化石墨烯（rGO）- 镍钴铁氧（NPs）纳米复合膜（CA/PEI/rGO-NPs）。在图 4[21]中，富含末端氨基的 PEI 作为“分子胶”，通过化学键将 CA 膜与 rGO 紧密相连；利用边缘含氧官能团与过渡金属氧化物的亲水作用，将 rGO 平面的缺陷区域进行定向纳米修补；通过“分子胶”连接和纳米修补的协同策略获得高气体阻隔 CA/PEI/rGO-NPs 复合膜。此膜的氧气和水蒸气透过率降低到 0.31 $cm^3$·μm/($m^2$·d·kPa) 和 314.23 g/($m^2$·24 h)，比纯 CA 膜分别降低 99.60% 和 54.69%。同时，复合膜的接触角和拉伸强度分别达到 97.74° 和 40.67 MPa。Xu Z. H. 等[22]设计了多羟基交联驱动链间距缩短策略，构建致密多糖基包装薄膜，即羧甲基壳聚糖（CMCS）/ 海藻酸钠 - 多巴胺复合物（SD）/ 氧化淀粉（OS）/ 茶多酚（TP）复合薄膜（COSDT）（见图 5）。研究结果表明，COSDT 薄膜能较好阻碍水分子吸附和渗透，水蒸气透过率从 $5.10\times10^{-7}$ g/(m·s·Pa) 降低至 $1.03\times10^{-7}$ g/(m·s·Pa)，氧气透过率从 8.28 $cm^3$·μm/($m^2$·d·kPa) 降低至 2.70 $cm^3$·μm/($m^2$·d·kPa)，且薄膜在 95% RH 的高湿环境下保持 30.76 MPa 的稳定力学强度。此方法为设计和构建高阻隔防水活性食品包装提供了新视角。

### 1.4　印刷适性和防伪

随着纸浆模塑在高端产品包装中的普及，对其功能性和安全性要求不断提升。除防水性、阻隔性等性能外，印刷适性也成为提高产品包装美观度的重要指

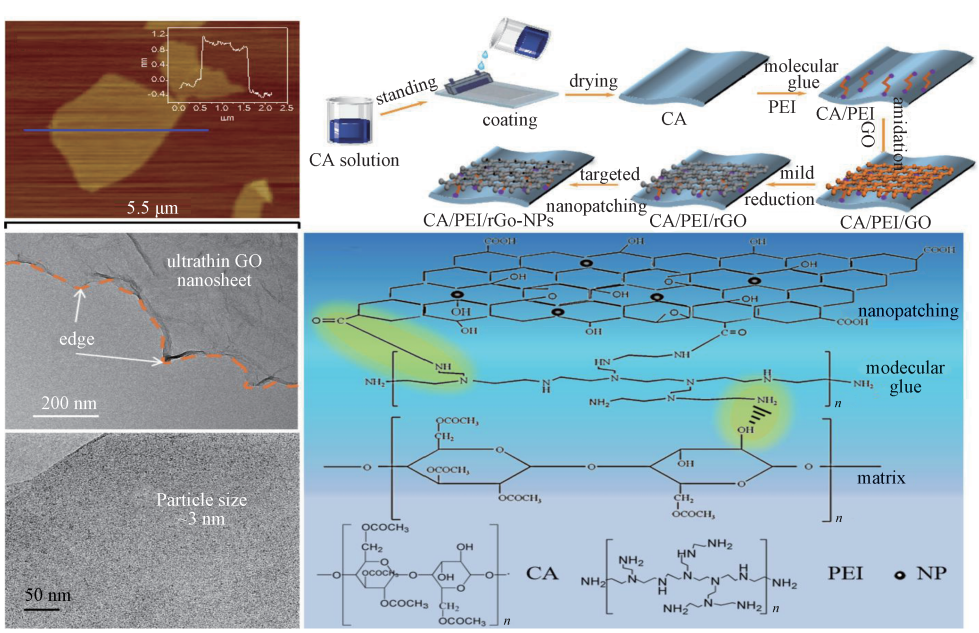


**图 4　基于“分子胶”与纳米修补协同策略的高气体阻隔涂层制备机理**

**Fig. 4　Preparation mechanism of high gas-barrier layers achieved by applying “molecular glue” and nano-patching strategies**

标。由于传统纸浆模塑多孔疏松、表面粗糙且吸湿性强，若直接印刷，效果往往不尽人意，油墨易出现渗透或晕染现象，图案的清晰度与附着力难以得到有效保障[23]。相关研究主要聚焦于提升表面致密度与平滑度、增强油墨渗透可控性等方面。在材料表面涂布适量羧甲基纤维素，以形成平滑致密的膜层，降低油墨渗透率，改善印刷清晰度[24]。通过在中间层采用质量差些的化机浆，并在表层运用质量优良的精细漂白化学浆，在降低成本的同时，形成表面光滑且利于印刷的表层。在干燥过程中，使用平滑或带有细纹的热压金属模也是提高纸浆模塑产品表面平整度和印刷适性的有效方法。

纸浆模塑工艺具有模具设计灵活、过程可调性强的特点，为包装防伪与溯源提供了可行实现路径。一种方法是将防伪信息融入产品结构中。例如，在模具端刻蚀企业或产品 Logo，使制品表面形成天然纹理标识或水印式特征，以减少后印刷依赖，进而防范产品被仿制。另一种方法是在材料成型过程中或后处理阶段引入可识别特征[25]。例如，在浆料中加入荧光纤维、碳量子点、光子晶体等防伪标识物，或利用纸浆模塑表面可加工性，结合激光雕刻、印刷防伪油墨等手段，实现身份识别与溯源管理，从而抑制仿冒与非法流通[26]。以上防伪方法具有过程简单、防伪效果好、成本低等特点，在烟酒、香水等高档包装领域中应用广泛，如图 6 所示。

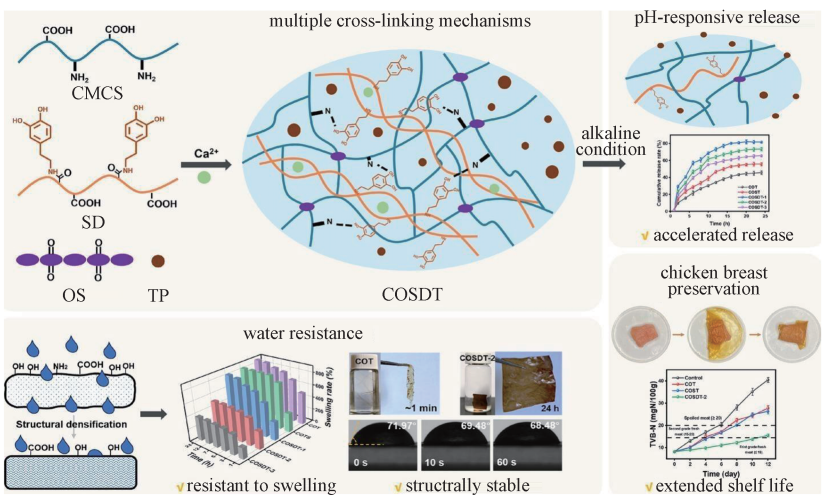


**图 5　基于多羟基交联驱动链间距缩短策略的 COSDT 包装膜性能**

**Fig. 5　The performance maps of COSDT packaging films based on the strategy of multi-mechanism cross-linking driven chain spacing shortening**



**图 6　具有防伪功能的纸浆模塑产品**

**Fig. 6　Pulp molding products endowed with anti-counterfeiting functionality**

## 2 纸浆模塑产品的生产实践

### 2.1 工艺流程与关键参数的协同优化

尽管纸浆模塑生产在装备与成型细节上存在差异，但其工艺流程普遍遵循“碎解打浆—施胶调浆—成型—脱水与干燥—整型与切边”的基本路径。高质量产品的实现并非依赖某一单点参数的提升，而取决于各关键工序在纤维网络构建、结构致密化与功能界面形成上的协同匹配。

前端制浆与调浆阶段为后续成型奠定基础。纤维原料的选择与复配决定了纤维长度分布，打浆度、浆料浓度与 pH 值等条件影响纤维分散性、柔顺性及结合能力，它们共同决定产品的强度、表面平整度与印刷适性。施胶剂、防水剂、防油剂等功能助剂通过调控纤维间结合及产品表面状态，直接影响挺度、湿强度与油脂阻隔等关键指标，是食品包装、烟草包装等领域实现“以纸代塑”的关键 [27-29]。

成型与脱水环节中，湿法成型主要依赖真空度、吸浆时间与模网结构控制纤维沉积厚度与均匀性。真空不足或吸浆时间偏短易导致局部质量偏低或厚度不足，真空过高或吸浆时间过长则会增加能耗并诱发网痕、针孔等缺陷，需在实际生产中反复摸索以确定最佳参数。半干压工艺中，预干燥阶段的含水率控制尤为关键：含水率过高会在后续模内干燥时引发翘曲变形、起泡等问题，含水率过低则不利于纤维在模内二次流动与致密化，增加裂纹风险。直压与干法模塑则更关注气流分布、模腔填充均匀性及热压压力、温度与保压时间的匹配，以保证产品密度、边缘强度及复杂结构的可重复性。

干燥与整型阶段对最终品质同样具有重要影响。干压和半干压需在热风或热板温度、风速与干燥时间之间寻求平衡，避免过干燥导致脆裂或干燥不均引发尺寸变形 [30]。干燥过程在纸浆模塑生产中能耗占比较高，是节能降耗的重点环节。湿压采用模内加热技术，成型过程中同步实现干燥与定型，需考虑成型压力、模具温度与循环周期等多重因素，在产品质量、生产效率与能源消耗之间取得最佳平衡。

### 2.2 工艺参数建模与控制策略

纸浆模塑制品的质量受 3 类关键工艺窗口的协同影响：浆料端（浓度、pH 值、打浆度、纤维形态等）决定纤维分散与结合潜力 [31]；成型端（真空度、吸水时间、模具通透性等）影响脱水与沉积均匀性；干燥与热压端（温度、压力、保压时间、出模含水率等）直接关联致密化程度与产品缺陷。纸浆模塑生产过程呈多变量强联动特征。传统 PID 控制难以兼顾多个质量目标，易出现参数漂移与补偿滞后，进而放大跨工序波动。为应对这一挑战，行业逐步引入模型预测控制、模糊控制与数据驱动等策略 [32]。通过在线采集真空压力、成型时间、模温与排湿状态、出模含水率、厚度与重量等过程数据，建立强度、翘曲变形与表面缺陷等质量指标的预测模型，并将预测结果用于配浆与干燥热压段设定值的联动更新，实现跨工段的闭环优化与稳定制造。

在工艺优化方面，赵琨 [33] 针对真空压力系统与浆料浓度控制分别建立数学模型，提出相应控制算法以补偿扰动。在外观品质提升方面，研究逐步聚焦于工艺优化与表面整饰的协同，通过添加改性淀粉、调整干燥温度与压力等关键参数，改善产品表面强度与视觉效果。节能降耗则成为另一重要目标。黄帅 [34] 分析了纸浆模塑各个工艺的能耗特点，采用变频调速技术、伺服驱动技术，并结合模糊控制、自适应控制等策略，实现生产过程关键工艺参数的高效调节。总体而言，纸浆模塑工艺研究正从经验驱动向“模型与数据驱动”的精细化控制与系统优化转变。

### 2.3 自动化、智能化生产

随着纸浆模塑产品应用范围扩大与市场竞争加剧，生产向基于数据与模型的自动化、智能化及系统节能方向转型。目前，湿压餐具生产线已广泛采用“成型—定型—切边”一体机、转移机器人及堆叠机器人，并配置在线消毒、自动包装等全过程自动化控制系统，形成连续化、自动化的生产模式。在此基础上，通过建立真空系统、纸浆浓度控制系统及干燥系统的传递过程模型或数据驱动模型，并融合模糊控制、自抗扰控制等先进控制算法，显著提高了真空度、浆料浓度与干燥温度等关键变量的控制精度，降低了产品质量波动与尺寸误差 [35]。面向智能包装需求，过程控制重点正从提升平均水平转向强化批次一致性、降低缺陷率。借助机器视觉识别表面毛刺、压痕及边缘缺损等缺陷，建立缺陷特征与模具磨损、浆料絮聚状态及脱模条件之间的关联，实现缺陷表征、形成机理与工艺参数的协同调节。

在干燥等高能耗环节，真空带式干燥与热风循环系统通过多种控制协同策略，在提升升温速率、稳定干燥温度与降低电加热能耗方面展现出明显优势，为纸浆模塑干燥工段的智能节能控制提供了可行技

术路径。从全流程视角看，与纸浆模塑生产流程相似的造纸工业已有研究表明，通过能耗基准诊断、工艺能量平衡分析与系统节能改造，可在不降低产品质量的前提下显著降低单位产品能耗，为纸浆模塑工艺的节能评估与改造提供了理论与方法支撑。近年来，制浆造纸领域的能源管理与人工智能研究显示，借助机器学习和多目标优化算法，对精炼、脱水与干燥等高能耗环节进行参数寻优，有望挖掘出两位数的节能潜力，同时增强生产线的运行稳定性[36]。上述经验可为纸浆模塑生产过程所借鉴。

## 3 纸浆模塑包装的创新应用

### 3.1 3C 产品和日化用品包装

在全球“限塑”“禁塑”浪潮推动下，纸浆模塑领域持续开展新工艺、新技术、新设备研发，向 AI 赋能提质、绿色节能降碳、规模化稳定生产升级[37-39]。

3C 产品行业，三星 Galaxy S21 系列手机采用由甘蔗渣与竹纤维制成的染色纸浆模塑内托；27 英寸 iMac Pro 2017 苹果手机采用以 100% 植物纤维纸浆为原料的纸浆模塑内托，该内托设计简约、结构紧凑且缓冲良好；戴森吹风机包装原料由甘蔗浆转为秸秆纤维，使成本降低、耐压性能提升[40]；戴尔笔记本包装采用竹浆模塑内托搭配麦秸浆纸箱，兼顾环保、强度与外观；惠普将纸浆模塑作为内衬缓冲材料。这些企业采用可再生、可降解包装，不仅彰显了企业的环保责任，而且契合行业的主流发展趋势[41]。

日化用品行业，欧莱雅、雅诗兰黛、联合利华、香奈儿、宝洁等企业纷纷推行包装更新，选用纸浆模塑以实现环保与可持续发展目标[42]。市场上常见的几种高端纸浆模塑包装如图 7 所示。



**图 7 高端纸浆模塑工业包装产品**

**Fig. 7 High-end industrial packaging products from pulp molding**

当前，3C 与日化用品包装正朝向原料可再生或再生纤维再利用方向发展，生产过程强调高质量成形与外观控制，产品兼顾可降解与高性能需求，推动纸浆模塑在更多高要求包装场景中的应用与拓展。

### 3.2 烟草包装

近年来，在烟草行业减碳与包装材料绿色化的需求驱动下，纸浆模塑在烟草包装中的应用逐步增加。传统烟草包装较多依赖塑料、铝箔及其复合材料，虽具备一定阻隔与外观优势，但普遍存在资源消耗较大、难降解以及回收利用受限等问题。纸浆模塑以可再生植物纤维为原料，兼具可降解、可回收与成本可控等特点，为烟草包装提供了从“材料替代”走向“低碳制造与可持续供应链”的现实路径。

纸浆模塑主要应用于卷烟外包装的托盘、运输缓冲衬垫及部分内衬构造，既具防震防潮作用，也能通过模具设计实现与高端烟草包装相适配的精细化外观与防伪功能（如图 8 所示）。同时，围绕提升耐湿性、阻隔性与印刷适性等关键性能，纸浆模塑正从“结构缓冲材料”向“功能化包装部件”拓展。




**图 8 纸浆模塑在烟草包装中的应用实例**

**Fig. 8 Representative applications of pulp molding products in tobacco packaging**

总体而言，纸浆模塑若要在烟草包装中从辅助结构件向核心包装部件转变，关键在于以 AI 赋能实现质量一致性控制，以节能降碳为导向优化工艺系统，实现尺寸精度、结构强度、阻隔耐湿、成形效率与成本之间的多目标平衡，从而在政策与行业低碳约束下，完成从“可用”到“好用、稳定可供、低碳合规”的质变升级。

### 3.3 食品包装

近年来，纸浆模塑在食品包装领域的应用规模和工艺水平持续提升[43]，其在食品包装领域的应用如图 9 所示。依托木浆、甘蔗渣、竹纤维等可再生原料

制备的植物纤维基快餐盒，契合绿色、低碳与可持续包装体系的发展需求，已在多家快餐品牌中实现应用。针对含油食品（如油炸食品、高油脂即食餐等）对耐油性能的更高要求，研究重点逐渐从传统防油纸转向纸浆模塑基体与表面功能层的协同设计，围绕无氟防油剂、生物基防油涂层及与成型工艺相适配的生物基覆膜 / 涂布等绿色功能化手段，构建防油界面与复合阻隔结构，以提升抗油脂渗透能力。与此同时，纸浆模塑在冷链与速冻食品包装中的拓展应用亦日益受到关注。以速冻水饺为例，采用具备承载与缓冲性能的纸浆模塑托盘或盒体，可在冷冻储运过程中实现产品定型、防震及防破损。如何在冷冻环境下保持高强阻湿性能，成为关键技术挑战。



**图 9　纸浆模塑在食品包装中的应用实例**

**Fig. 9　Representative applications of pulp molding products in food packaging**

在食品领域，纸浆模塑制品不仅需要具备较好的疏水性，还需兼顾良好的纤维强度与湿气阻隔性能，以缓解结露、水汽渗入引起的产品冻粘、包装强度下降等问题。在此基础上，纸浆模塑仍保持整体可降解与可回收特性，彰显其在构建食品包装绿色低碳循环体系方面的应用潜力 [44–45]。

### 3.4　农业育苗容器

在农业育苗场景中，育苗容器既是耗材，也是潜在的环境污染源。其绿色化需求推动纸浆模塑育苗盘（见图 10）逐步替代塑料育苗盘。相比塑料制品，纸浆模塑育苗盘既能提供满足育苗需求的透气性与保水支撑，又可在土壤或基质中逐步降解，从源头减少塑料废弃物累积与回收处置压力。例如，可降解纸浆花盆等园艺容器通过连盆移栽实现容器与栽植过程的无缝衔接，减少换盆与废弃处理环节，有利于提升生产效率并减轻环境负担。

纸浆模塑在农业育苗领域的核心优势在于：既能满足通气、保水等关键使用要求，又凭借可降解特性减少塑料污染，实现育苗容器与栽培流程的高效适配。此外，通过内部添加或表面涂布保水剂、肥料等功能助剂，可进一步拓展其功能化应用。纸浆模塑是设施园艺与苗木生产中极具潜力的绿色替代方案。



**图 10　纸浆模塑在育苗中的应用实例**

**Fig. 10　Representative applications of pulp molding products in agriculture**

### 3.5　其他应用

在医疗与化妆品等对安全、洁净与可持续要求更严格的应用场景中，纸浆模塑需满足特定功能需求，部分典型应用如图 11 所示。



**图 11　纸浆模塑在其他领域中的应用实例**

**Fig. 11　Representative applications of pulp molding products in other areas**

在医疗包装中，纸浆模塑内托成型精度高，可在提供缓冲保护的同时，满足一次性器械、试剂盒与医用耗材对洁净度和规范化的要求，降低废弃物处置压力。对于化妆品、家具、玩具等注重展示效果的产品，纸浆模塑可通过精细化成型与表面处理，提升包装的外观质感与使用体验。海南等地的酒店已出现纸浆模塑替代塑料衣架、梳子和牙具等一次性用品的应用案例。在餐饮领域，纸浆模塑杯具与杯托凭借良好的承载性、抗水性与隔热性，得到广泛应用。此外，面向宠物用品，纸浆模塑猫砂盆兼具吸附缓冲、可降解与易处置等优点，被视为传统塑料猫砂盆的理想替代方案。

总体而言，纸浆模塑在医疗、化妆品、餐饮等领域具备良好推广基础，能通过成型与表面处理实现外观与结构定制化，是一条切实可行的绿色替代路径[46]。

## 4 结论和展望

在“禁塑”政策和“双碳”战略背景下，纸浆模塑凭借原料可再生、可降解及良好的缓冲防护性能，正从传统低附加值的鸡蛋内托等应用，加速向多领域、高性能、功能化的包装材料方向拓展。通过优化纤维原料配比与打浆工艺，引入淀粉类高分子、羧甲基纤维素等助剂，采用酶促交联法、涂层等技术，纸浆模塑产品在强度、抗水性和阻隔性方面已得到显著提升。配合表面施胶、结构优化和防伪设计，纸浆模塑产品可以更好地满足对包装外观及功能性的综合需求。在工艺和设备层面，通过对真空系统、浆料浓度和干燥过程进行建模并引入智能控制，同时配合一体化设备和机器人转运等技术，有效解决了生产过程稳定性、生产效率与能耗之间的平衡问题。通过产品功能化改性与创新生产工艺，纸浆模塑已广泛应用于 3C 产品、日化用品、烟草、食品、农业育苗及医疗器械等领域的包装，成为推进“代塑”“减塑”和“低碳”发展的重要技术路径。

在不久的将来，兼具优良力学性能、阻隔性、智能响应、防伪功能及全生命周期绿色低碳优势的纸浆模塑产品，必将引领新一轮的产业升级，迎来蓬勃发展的新时代。

**参考文献：**

[1] 黄俊彦 . 纸浆模塑生产实用技术 [M]. 2 版 . 北京：文化发展出版社，2021：1-21.

[2] ZHANG Z C，HAO F Y，HU D，et al. Natural Plant Fiber-Based Materials for Packaging Applications: A Review of Recent Innovations and Developments[J]. Advanced Materials Technologies，2025，10(7)：2401020.

[3] 黄俊彦 . 植物纤维模塑发展报告：2020—2022[M]. 北京：文化发展出版社，2023：40-70.

[4] 刘振华，周在峰 . 纸浆模塑行业发展现状及趋势分析（一）[J]. 中国造纸，2022，41(5)：108-116.

[5] 陈晓怡，王 戈，陈复明，等 . 一次性竹纤维餐盒研究现状与发展方向 [J]. 世界竹藤通讯，2022，20(1)：6-12.

[6] 张洪波，赵子怡，孙 昊，等 . 精致化纸浆模塑制品及关键制备工艺参数优化 [J]. 轻工机械，2016，34(4)：72-75.

[7] WANG Z P，CAI Y X，JING Y J. Molded Pulp Material Structure Parameters on the Performance of the Buffer[J]. Energy Procedia，2012，17：1872-1877.

[8] 陆新宗，肖生苓，王全亮，等 . 漆酶介体体系对纸模材料强度与疏水性的影响 [J]. 包装工程，2018，39(11)：81-87.

[9] 田 章，肖生苓，王全亮 . 温湿度和紫外老化对纸浆模塑材料性能的影响 [J]. 包装工程，2019，40(17)：96-103.

[10] 岑 蕾，张新昌 . 基于浆内助剂的纸浆模塑制品强度性能研究 [J]. 当代化工，2020，49(1)：83-86.

[11] 姚培培，肖生苓，岳金权 . 不同干燥方式对纸浆模塑材料性能的影响 [J]. 包装工程，2014，35(7)：22-28.

[12] 程 芸，张红杰，张 雪，等 . 改善食品包装纸浆模塑材料的机械性能研究 [J]. 中国造纸，2022，41(8)：1-9.

[13] 王飞杰，王利强，张新昌 . 基于植物纤维的食品包装疏水化研究进展 [J]. 中国食品学报，2022，22(3)：388-396.

[14] RUWOLDT J，PASQUIER E，ØKSNES DALHEIM M. Barrier Coatings on Dry-Formed Pulp with Lignin, Stearic Acid, and Combinations Thereof[J]. Progress in Organic Coatings，2024，197：108804.

[15] YUN T T，PANG B，LU J，et al. Study on the Derivation of Cassava Residue and Its Application in Surface Sizing[J]. International Journal of Biological Macromolecules，2019，128：80-84.

[16] YUN T T，TAO Y H，LI Q，et al. Superhydrophobic Modification of Cellulosic Paper-Based Materials: Fabrication, Properties, and Versatile Applications[J]. Carbohydrate Polymers，2023，305：120570.

[17] CHEN Z C，FAN G Y，HE X Y，et al. Diatomite Modified with an Alkyl Ketene Dimer for Hydrophobicity of Cellulosic Paper[J]. ACS Omega，2022，7(23)：20129-20136.

[18] HOSSEINI S，NILSSON R，STRÖM A，et al. Alkyl Ketene Dimer Modification of Thermomechanical Pulp Promotes Processability with Polypropylene[J]. Polymer Composites，2024，45(1)：825-835.

[19] LI Y F，TANG Z J，LU J，et al. The Fabrication of a Degradable Film with High Antimicrobial and Antioxidant Activities[J]. Industrial Crops and Products，2019，140：111692.

[20] ZHOU H M，TONG H，LU J，et al. Preparation of Bio-

Based Cellulose Acetate/Chitosan Composite Film with Oxygen and Water Resistant Properties[J]. Carbohydrate Polymers，2021，270：118381.

[21] ZHOU H M，ZHOU S Y，JI X X，et al. High-Performance Cellulose Acetate-Based Gas Barrier Films via Tailoring Reduced Graphene Oxide Nanosheets[J]. International Journal of Biological Macromolecules，2022，209：1450−1456.

[22] XU Z H，DU J，SHAN P，et al. Multi-Mechanism Cross-Linking Driven Chain Spacing Shortening to Construct Polysaccharide-Based Active Packaging Films with High Water Resistance and Intelligent Controlled Release[J]. Chemical Engineering Journal，2025，520：165750.

[23] 王建民 . 植物纤维浆料在纸浆模塑中的应用 [J]. 中国包装，2022，42(12)：23−26.

[24] 曹婉鑫，陈　洋，唐　瑶 . 羧甲基纤维素作为造纸助剂在纸张生产中的应用 [J]. 华东纸业，2015，45(2)：38−41.

[25] 张彩红，谢梦泠，黄国凤 . 防伪技术在标签印刷领域中的应用研究 [J]. 包装工程，2025，46(S1)：102−107.

[26] LIU Y，HAN F，LI F S，et al. Inkjet-Printed Unclonable Quantum Dot Fluorescent Anti-Counterfeiting Labels with Artificial Intelligence Authentication[J]. Nature Communications，2019，10：2409.

[27] ZHANG Y L，DUAN C，BOKKA S K，et al. Molded Fiber and Pulp Products as Green and Sustainable Alternatives to Plastics: A Mini Review[J]. Journal of Bioresources and Bioproducts，2022，7(1)：14−25.

[28] LIU Y F，MA S F，WANG F J，et al. Advances in Research of Molded Pulp for Food Packaging[J]. Journal of Renewable Materials，2023，11(11)：3831−3846.

[29] SEMPLE K E，ZHOU C L，ROJAS O J，et al. Moulded Pulp Fibers for Disposable Food Packaging: A State-of-the-Art Review[J]. Food Packaging and Shelf Life，2022，33：100908.

[30] ZHANG J W，CUI H L，YANG A L，et al. An Intelligent Digital Twin System for Paper Manufacturing in the Paper Industry[J]. Expert Systems with Applications，2023，230：120614.

[31] 刘志忱 . 探析纸浆模塑湿部化学原理及其对设备、模具和制品设计的影响 [J]. 上海包装，2021(1)：59−61.

[32] CHEN S Y，ASAR M E，YAGOOBI J，et al. RLGBS: Reinforcement Learning-Guided Beam Search for Process Optimization in a Paper Machine Dryer Section[J]. Computers in Industry，2025，172：104351.

[33] 赵　琨 . 纸浆模塑工艺参数控制算法研究 [D]. 武汉：华中科技大学，2020.

[34] 黄　帅 . 纸浆模塑生产过程节能降耗关键技术研究 [D]. 广州：广东工业大学，2014.

[35] WANG Y D，XU P，ZHANG Z T，et al. Control Optimization for Heat Source Temperature of Vacuum Belt Drying System Based on Fuzzy Control and Integral Control[J]. Energies，2024，17(15)：3824.

[36] VIITALA R，MIETTINEN M，MARQUEZ R，et al. Integration of Artificial Intelligence and Sustainable Energy Management in the Pulp and Paper Industry: A Path to Decarbonization[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews，2025，218：115809.

[37] LENDEWIG M，MARQUEZ R，FRANCO J，et al. Moving Toward Fiber-Based Products Free of PFAS: Industry Response to Regulations for Paper Packaging, Hygiene and Textile Products[J]. Resources, Conservation and Recycling，2025，222：108428.

[38] 赵宝琳 . 新形势下以纸代塑拓展延伸的思路 [J]. 中华纸业，2021，42(21)：43−48.

[39] 崔庆斌 . 中低端纸浆模塑包装的发展探究 [J]. 上海包装，2021(2)：61−64.

[40] 杨开吉 . 纸浆模塑的可持续性将推动包装市场在 2024 年前强劲增长 [J]. 造纸信息，2021(4)：65.

[41] 黄俊彦，邢　浩 . 纸浆模塑创新技术与发展趋势展望 [J]. 造纸信息，2020(12)：20−25.

[42] 张　雪，张红杰，程　芸，等 . 纸基包装材料的研究进展、应用现状及展望 [J]. 中国造纸，2020，39(11)：53−69.

[43] GAUTAM S，KUMARI K，SONOWAL L. Chitosan Composite Biofilms for Active and Smart Food Packaging[M]//Application of Nanotechnology for Sustainable Agriculture and Food Security Volume 2: Innovations in Pre- and Post-Harvest Crop Management. Washington：American Chemical Society，2025：1−24.

[44] SEMPLE K E，ZHOU C L，ROJAS O J，et al. Moulded Pulp Fibers for Disposable Food Packaging: A State-of-the-Art Review[J]. Food Packaging and Shelf Life，2022，33：100908.

[45] 程　峥，宁　梅，文璇慧，等 . 纸基包装在食品领域中应用现状及发展趋势 [J]. 中国造纸，2025，44(7)：74−86.

[46] 李甫印，张　暖，林勤保，等 . 基于生命周期评价的纸浆模塑天地盖礼盒环境影响分析 [J]. 包装学报，2024，16(5)：43−51.

（责任编辑：邓　彬）

# Functional Modification, Production Practice and Innovative Application of Pulp Molding Products

JIA Zhenglei[1], SHAN Peng[2], HUANG Liwen[1], ZHANG Jialiang[1],
HUANG Junyan[3], WANG Haisong[2]

(1. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China; 2. School of Light Industry & Chemistry Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning 116034, China; 3. Secretariat of the Pulp Molding Packaging Professional Committee of the China Packaging Federation, Dalian Liaoning 116034, China)

**Abstract**: Driven by the "dual-carbon" strategy and "plastic ban" policies, pulp molding has emerged as an important alternative to plastic packaging owing to its renewable raw materials, biodegradability, and low energy consumption during processing. The functional modification of pulp molding can be achieved through fiber material selection and blending, optimization of beating and molding parameters, incorporation of internal additives, and surface coating treatments, thereby improving the properties of mechanical strength, water resistance, barrier performance, printability, and anti-counterfeiting function. Meanwhile, the synergistic optimization of processing parameters, together with the introduction of automation and intelligent control, can further enhance the quality and energy efficiency of products. At present, pulp molding has been widely applied in the packaging of 3C products, daily consumer goods, tobacco, food, and agricultural products. The functional modification of pulp molding products provides a green substitute for conventional plastic packaging materials and supports the transition of the packaging industry toward a low-carbon future.

**Keywords**: pulp molding; functional modification; water resistance; barrier property; anti-counterfeiting