

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20240184

网络首发日期: 2025-10-27; 网络首发地址: <http://link.cnki.net/urlid/12.1355.N.20251027.1459.010>

## 压花工艺对生活用纸物理性能的影响

李岩<sup>1,3,4</sup>, 鲁宾<sup>2</sup>, 曹海兵<sup>2</sup>, 程正柏<sup>2</sup>, 刘洪斌<sup>1,3,4</sup>, 安兴业<sup>1,3,4</sup>

(1. 生物源纤维制造技术国家重点实验室, 天津 300457; 2. 浙江景兴纸业股份有限公司, 平湖 314214;  
3. 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;  
4. 中国轻工业造纸与生物质精炼重点实验室, 天津 300457)

**摘要:** 为了改善生活用纸的强度性能和柔软性能, 探究了压花工艺和浆料比对单层生活用纸物理性能的影响。结果表明: 压花工艺提高了单层生活用纸的松厚度和柔软度, 但会降低纸张的强度性能。当阔叶木浆与针叶木浆配比为 85:15、打浆度为 29 °SR 时, 经 0.5 MPa 压花后, 生活用纸松厚度和柔软度分别提高 5.8% 和 20.7%, 而纵向抗张指数降低了 27.4%, 实现了松厚度与柔软度的最大提升与抗张强度的最小损失。

**关键词:** 生活用纸; 压花; 柔软度; 浆料配比; 机械性能

中图分类号: TB34 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2026)02-0074-07

## Impact of Embossing Technology on Physical Properties of Tissue Paper

LI Yan<sup>1,3,4</sup>, LU Bin<sup>2</sup>, CAO Haibing<sup>2</sup>, CHENG Zhengbai<sup>2</sup>, LIU Hongbin<sup>1,3,4</sup>, AN Xingye<sup>1,3,4</sup>

(1. State Key Laboratory of Biobased Fiber Manufacturing Technology, Tianjin 300457, China;  
2. Zhejiang Jingxing Paper Co., Ltd., Pinghu 314214, China;  
3. Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;  
4. China Light Industry Key Laboratory of Papermaking and Biorefinery, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** In order to improve the strength and softness properties of tissue paper, this study investigates the impact of embossing technology and pulp additive ratio on the physical properties of single-ply tissue paper. The results indicated that the embossing process increased the bulk and softness of the single-ply tissue paper but reduced its strength properties. When the hardwood/softwood pulp ratio was 85:15 at a beating degree of 29 °SR, the bulk and softness of tissue paper increased by 5.8% and 20.7%, respectively after embossing at 0.5 MPa, while the longitudinal tensile index decreased by 27.4%. This condition achieved maximum bulk/softness enhancement with minimal loss in tensile strength.

**Key words:** tissue paper; embossing; softness; pulp additive ratio; mechanical property

### 引文格式:

李岩, 鲁宾, 曹海兵, 等. 压花工艺对生活用纸物理性能的影响[J]. 天津科技大学学报, 2026, 41(2): 74-80.

LI Y, LU B, CAO H B, et al. Impact of embossing technology on physical properties of tissue paper[J]. Journal of Tianjin university of science and technology, 2026, 41(2): 74-80.

生活用纸是一种柔软、蓬松、便携的一次性纸制品, 根据使用场景可细分为卫生纸、纸巾纸和擦拭纸 3 种主要类别。生活用纸的主要性能包括液体吸收性能、强度性能(抵抗外力作用而不易破损的能力)和柔软性能<sup>[1]</sup>。良好的液体吸收性能使其能有效应对高水

分和高油脂含量的复杂液体环境, 强度性能则保障了其在使用过程中不易破损, 维持稳定的使用体验<sup>[2]</sup>。此外, 鉴于部分生活用纸需直接接触人体肌肤, 柔软性能也是衡量品质的重要指标。这些性能主要受到抄造工艺(打浆、抄纸等)和后加工工艺(起皱工艺、

收稿日期: 2024-09-18; 修回日期: 2025-05-20

基金项目: 浙江景兴纸业股份有限公司校企合作项目

作者简介: 李岩(1999—), 男, 河北人, 硕士研究生; 通信作者: 安兴业, 副教授, [anxingye@tust.edu.cn](mailto:anxingye@tust.edu.cn)

压花工艺等)的影响<sup>[3]</sup>。生活用纸的柔软度通常被认为是表面手感与松厚度的综合性体现,是对生活用纸结构的物理压缩和变形性能的主观感受<sup>[4]</sup>。生活用纸的强度性能则由纸张的定量、松厚度及后加工工艺共同决定。

在实际生产过程中,生活用纸的强度与柔软性之间的平衡始终是一个难题。随着纸张柔软度的提高,纸张的抗张强度通常会有所下降<sup>[5]</sup>。在传统的生产工艺中,往往需要通过压花、起皱等工艺增加纸张的松厚度和柔软度,这些工艺能够显著增加纸张的柔软度,但却会削弱纸张的强度,特别是对需要承受较大外力的生活用纸。反之,为了提高纸张的抗张强度,通常需要增加纸张的定量和纤维结合力,但这又可能导致柔软性的下降。因此,如何在保证生活用纸具有柔软度的同时维持其强度性能,成为当前生活用纸生产中的一大挑战。

生活用纸的原料主要由阔叶木浆和针叶木浆混合而成,根据产品的性能和品质,其浆料配比会有很大差异<sup>[6]</sup>。针叶木浆的纤维细长,纤维间结合力强,形成的纤维网络更加紧密,纸张的抗张强度较高。阔叶木浆的纤维相对较短且粗,其结合力较针叶木浆弱,但其分散性好,能够在改善生活用纸的表面平滑度的同时赋予其蓬松柔软的触感。在适当比例下,针叶木浆和阔叶木浆能够相互补充,使生活用纸在保持高强度的同时也具备优良的柔软度<sup>[7]</sup>。

压花工艺作为一种提升生活用纸品质的关键技术,已经不再局限于装饰功能,而是可以显著改变纸张的微观结构,从而提升其性能<sup>[8-9]</sup>。在压花过程中,压花点处的纤维在压力作用下部分压溃,非压花点处的纤维则因局部压力的间接作用而呈现一种“撬起”状态,这一变化显著增加了纤维间的空隙,进而提高了纸张的松厚度和柔软度<sup>[10]</sup>。然而,被压溃的纤维会降低纸张的抗张强度,压花工艺的优化需要平衡柔软性与强度性能。

因此,本研究通过优化阔叶木浆和针叶木浆的比例,调节打浆度和压花压力,系统探讨这些因素对生活用纸力学性能和柔软性的具体影响,力求在提高纸张柔软度的同时,最大限度地保持纸张的强度。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

漂白针叶木硫酸盐浆(SW)、漂白阔叶木硫酸盐

浆(HW),浙江景兴纸业股份有限公司。两种纸浆均有25°SR、29°SR、33°SR 3种不同打浆度。

CAV4101型电子天平,上海精密科学仪器有限公司;AL204型分析天平、HS153型快速水分测定仪,瑞士梅特勒-托利多公司;73-18型标准疏解机、B0660005型抗张强度仪、Fiber Tester912型纤维测试分析仪,瑞典L&W公司;FDA型动态纸业成形器,法国Techpap公司;PN-PT12E型卫生用纸厚度测定仪,杭州品享科技有限公司;TSA型柔软度测定仪,德国Emtec公司;小型压花机,广东志德胜科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 纸张抄造

压花生活用纸制备的工艺流程图如图1所示。将25°SR、29°SR、33°SR 3种不同打浆度的漂白阔叶木硫酸盐浆和漂白针叶木硫酸盐浆按一定比例配抄,漂白阔叶木硫酸盐浆与漂白针叶木硫酸盐浆的配抄比例(质量比)分别为100:0、95:5、90:10、85:15、80:20、70:30。分别将两种浆料通过疏解机疏解至10000 r,用搅拌器将疏解后的浆料混合打散,转移至动态纸业成形器浆槽中加水稀释至浆料浓度为0.1%,在动态纸业成形器上抄纸,设定纸张定量为15 g/m<sup>2</sup>。

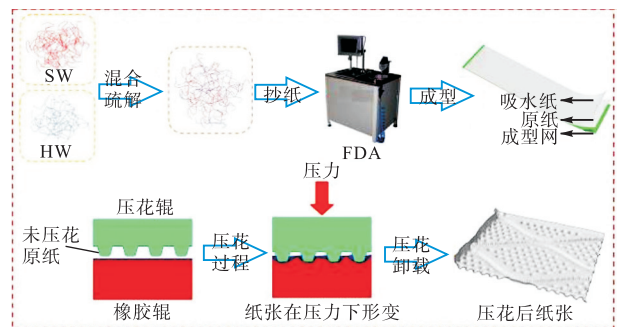


图1 压花生活用纸制备的工艺流程图

Fig. 1 Process flowchart for preparation of embossed tissue paper

#### 1.2.2 实验室原纸压花

本研究使用一台高精度的实验室小型压花机进行相关研究,该压花机如图2所示。该压花机采用钢辊对橡胶辊的压花工艺,采用两侧配置的气缸调节两辊之间的压力。由于压花深度和压花压力难以直接计算和调控,因此通过调整压花辊和橡胶辊之间的气压间接控制压花压力。随着两辊间施加的压力增大,压花压力也随之增加。实验中设置了3种不同的气缸压力,分别为0.40、0.45、0.50 MPa,压花辊转速为

25 r/min。

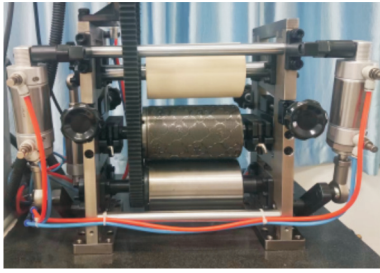


图2 实验室小型压花机实物图

Fig. 2 Photograph of the small-scale laboratory embossing machine

### 1.2.3 纸张性能检测

分别按照国家标准 GB/T 24328.2—2020《卫生纸及其制品 第2部分:厚度、层积厚度、表观层积紧度和松厚度的测定》、GB/T 24328.3—2020《卫生纸及其制品 第3部分:抗张强度、最大力值时伸长率和抗张能量吸收的测定》和 GB/T 8942—2016《纸柔软度的测定》测定纸张压花前后的松厚度、抗张强度和柔软度。

### 1.2.4 纤维形态分析

将 0.1 g 绝干浆料打散后,利用纤维测试分析仪测定纤维形态,测试时纤维数量不少于 15 000 根。

## 2 结果与讨论

### 2.1 纤维长度分析

不同打浆度浆料的纤维长度分布见表 1。

表 1 不同打浆度浆料的纤维长度分布

Tab. 1 Fiber length distribution of pulp samples with different beating degrees

浆料种类	打浆度/ °SR	纤维含量/%			长宽比
		≤0.2 mm (细小组分)	0.2 ~ 1.00 mm (中等纤维组分)	>1.00 mm (长纤维组分)	
针叶木浆	25	8.1	14.2	77.7	59.2
	29	7.5	14.9	77.6	52.9
	33	12.5	34.6	52.9	52.8
阔叶木浆	25	18.8	73.7	7.5	36.6
	29	20.2	72.4	7.4	36.2
	33	22.5	72.3	5.2	35.0

由表 1 可知,不同浆料中纤维的长度分布差异较大。漂白针叶木硫酸盐浆料中的长纤维组分最多,且纤维长度大多在 1 mm 以上。长纤维具有较高的拉伸强度和较好的纤维交织性能,有助于提高纸张的抗张强度。漂白阔叶木硫酸盐浆的纤维长度普遍较短,长

纤维组分最少,且中等纤维组分和细小组分占比较高。较短的纤维倾向于填充纸张的空隙,提升纸张的柔软度和松厚度,但纤维较短且纤维间结合力较弱,最终会导致其强度相对较低。随着打浆度的提升,纤维受物理剪切力作用,逐渐断裂,细小组分的比例增大,中等组分比例也相应上升,长纤维的比例逐渐降低。这一变化会导致纸张的柔软度和松厚度增大,强度降低。

纤维长宽比对纤维比表面积具有至关重要的影响。较大的比表面积能够增加纤维之间的接触面积,形成交织紧密的纤维网络结构,从而提高纸张的强度性能,降低其松厚度和柔软度。纤维在打浆过程中会受到剪切作用而被切断,提高打浆度会使纤维变短,从而导致纤维长宽比减小。由表 1 可知:针叶木浆纤维长宽比明显高于阔叶木浆纤维,打浆度越高则纤维长宽比越小。

### 2.2 表面形态分析

市面上的生活用纸大多采用阔叶木浆进行抄造,与针叶木浆相比,阔叶木浆的成纸强度较低<sup>[11]</sup>。在打浆度为 29°SR、 $m(\text{HW}) : m(\text{SW}) = 85 : 15$  的条件下制备纸样,0.5 MPa 压花后纸张表面形态及截面 SEM 图如图 3 所示。

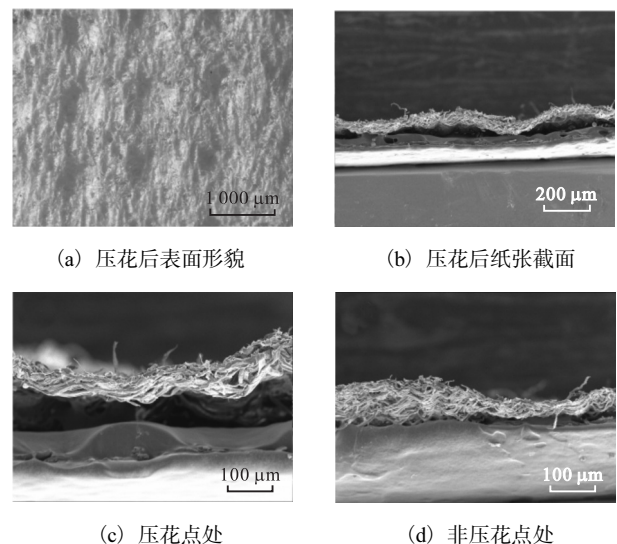


图 3 压花后纸张表面形态及截面 SEM 图

Fig. 3 Surface morphology and cross-sectional SEM images of embossed paper

经过压花处理的纸张,其压花点处的厚度小于非压花点处的厚度,且非压花点处的厚度在压花后明显增大。其原因可能在于:在压花过程中,压花辊对纸张施加的压力导致纸张表面纤维的压溃、弯曲和变形;而非压花点处的纤维,由于没有直接受到辊面压

力,它们在局部压力的作用下会发生形变,通常表现为纤维的“撬动”或“弯曲”,该过程使纤维沿接触点边缘发生弯折,形成微小的凸起和空隙。Vieira 等<sup>[12]</sup>的研究表明,在纸张压花过程中,非压花点的纤维因受限于局部应力分布,通常会表现出弯曲和挤压现

象,这种形变有助于提升纸张的蓬松感和松厚度。

### 2.3 松厚度分析

不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后松厚度的影响如图4所示。

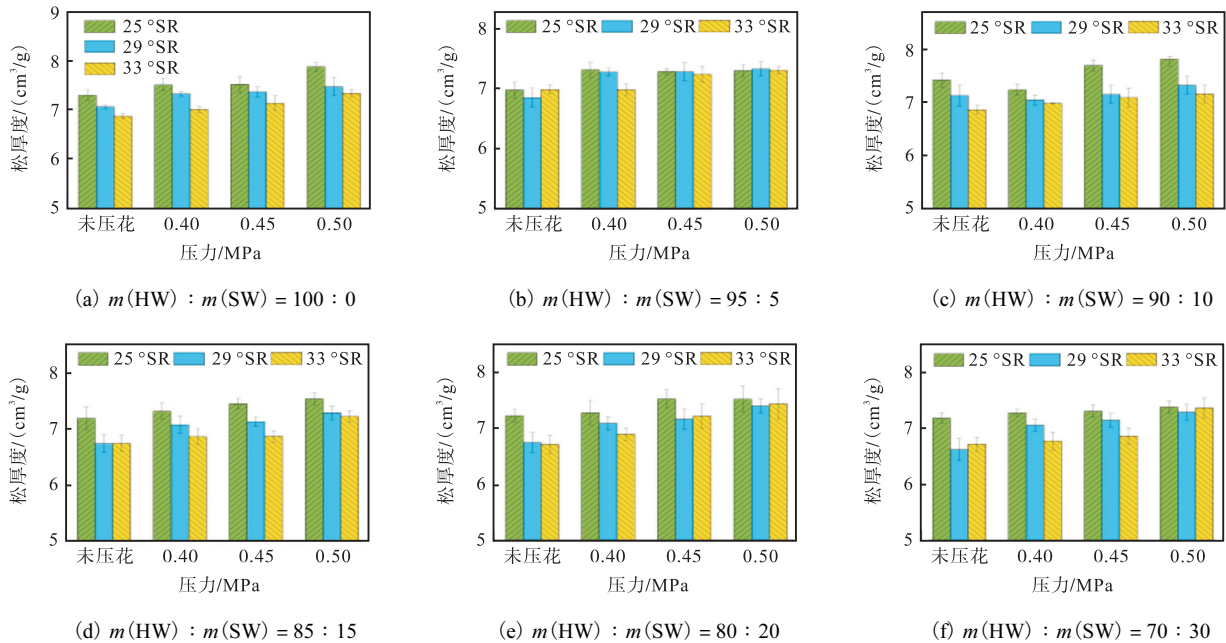


图4 不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后松厚度的影响

Fig. 4 Effects of beating degree and pulp blending ratio on bulk of single-ply tissue paper before and after embossing

由图4可知:压花处理后,纸张的松厚度普遍增大,且随着压力的增加,松厚度呈上升趋势。这可以归因于压花过程中局部压力的作用:在压花点处,纤维在压力的作用下被紧密结合在一起,形成压花图案;而在非压花点处,纤维则在局部压力的影响下呈现一种“撬起”状态,增加了非压花点处纤维与纤维的间距,使纸张的孔隙率增加,进而促使整个纸样的松厚度在压花处理后增大<sup>[13]</sup>。

随着打浆度的提高,在同一浆料配比下,纸样的松厚度呈下降趋势。打浆度提高导致纤维受到更强的剪切力作用,纤维细胞壁发生变形和位移,纤维分丝帚化程度加剧,细小纤维含量增多,填补了纤维之间的空隙,降低成纸的松厚度。

在同一打浆度下,单层生活用纸的松厚度随着阔叶木浆料比例的增大而呈上升趋势,这是由针叶木浆和阔叶木浆纤维形态的差异所致。针叶木浆纤维细长,易形成紧密交织的纸张结构,成纸的松厚度较低;而阔叶木纤维相对粗短,随着其比例的增加,纸张结构逐渐变得疏松,孔隙增多,从而使松厚度不断升高。

### 2.4 抗张强度分析

压花前后不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸强度性能的影响如图5、图6所示。

由图5、图6可知:压花可显著降低单层生活用纸的抗张强度。纸样的抗张强度随压力的增加而减小,但在0.5 MPa时仍能保持较高的抗张强度,此时纸页结构并没有被压溃。在压花过程中,纸样受到压花点剪切力和压力的作用,纸张内部的纤维被切断,纸页结构遭到破坏,导致纸样的强度性能下降。

随着打浆度的提高,单层生活用纸的抗张强度显著提升。这是由于打浆增加了纤维的分丝帚化程度,使得纤维之间的交织更加紧密,从而大幅增加了纸张的抗张强度。随着针叶木浆比例的增加,纸张的抗张强度呈现增大的趋势。针叶木浆纤维较长,在抄纸过程中,这些长纤维能够更好地相互缠绕与结合,形成更坚固的纤维网络结构,进而增大了纸张的抗张强度。

### 2.5 柔软度分析

不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后柔软度的影响如图7所示。用TS7值表征单层生

活用纸的柔软度, TS7 值越低, 则代表生活用纸的柔软度越高<sup>[14]</sup>。

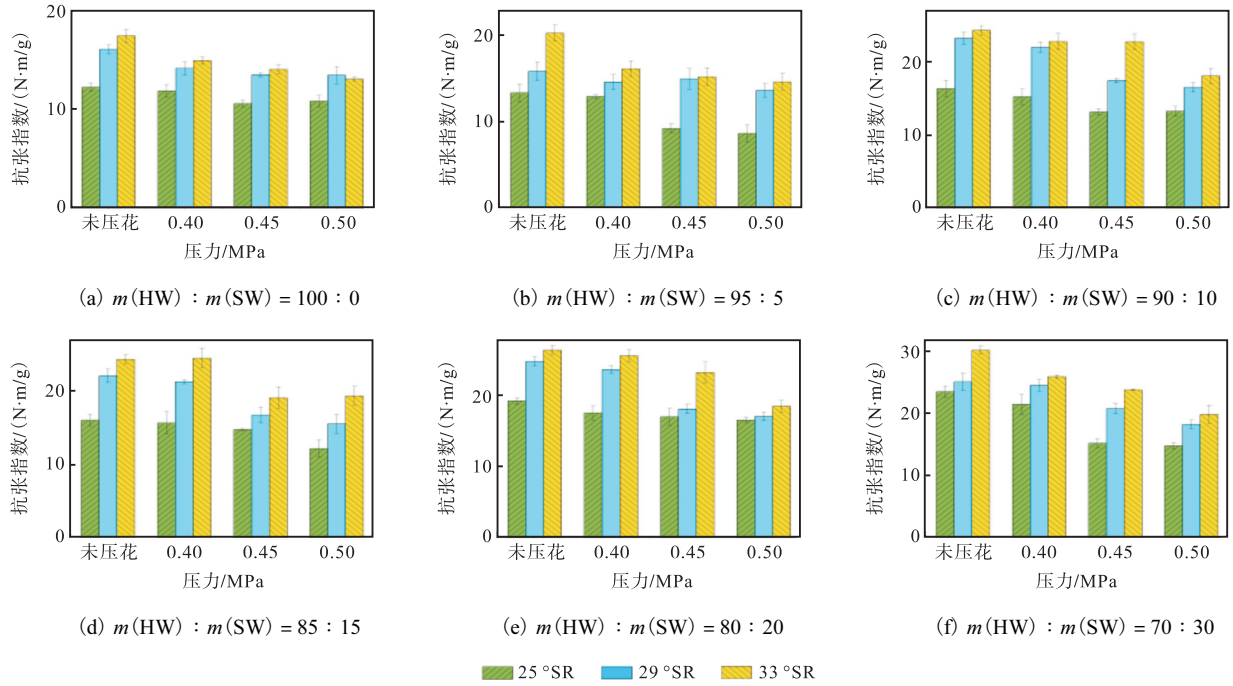


图5 不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后纵向抗张指数的影响

Fig. 5 Effects of beating degree and pulp blending ratio on longitudinal tensile index of single-ply tissue paper before- and after embossing

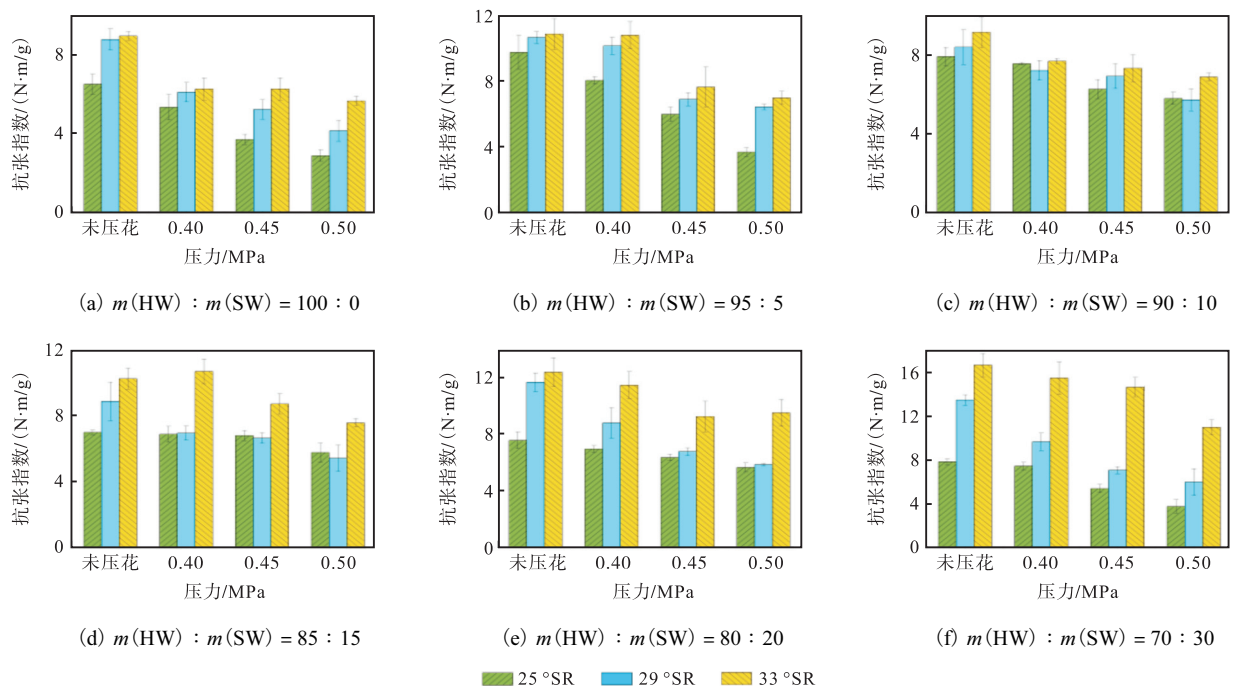


图6 不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后横向抗张指数的影响

Fig. 6 Effects of beating degree and pulp blending ratio on cross-directional tensile index of single-ply tissue paper before and after embossing

由图 7 可知: 压花会提高单层生活用纸的柔软度, 随着压力的增加, 纸样的柔软度呈上升趋势。这是由于在压花压力的作用下增加了非压花点处纤维的间距, 纤维间的相互作用减弱, 纤维更容易发生滑

动和位移, 提高了纸张的柔软度<sup>[15]</sup>。同时压花工艺在纸张表面形成凹凸不平的压花图案, 改变了纸张的表面形态, 使纸张更加蓬松。这些压花图案在受到外力作用时更容易发生形变, 进一步增加了纸张的柔软

程度。

随着打浆度的提升,在同一浆料配比下,单层生活用纸的柔软度显著降低。这是因为打浆度的提高

会增加纤维分丝帚化程度和交织程度,纸张的紧度增大,在外力作用下更难发生形变。增加的细小纤维填补了纤维之间的空隙,从而降低了纸张的柔软度<sup>[16]</sup>。

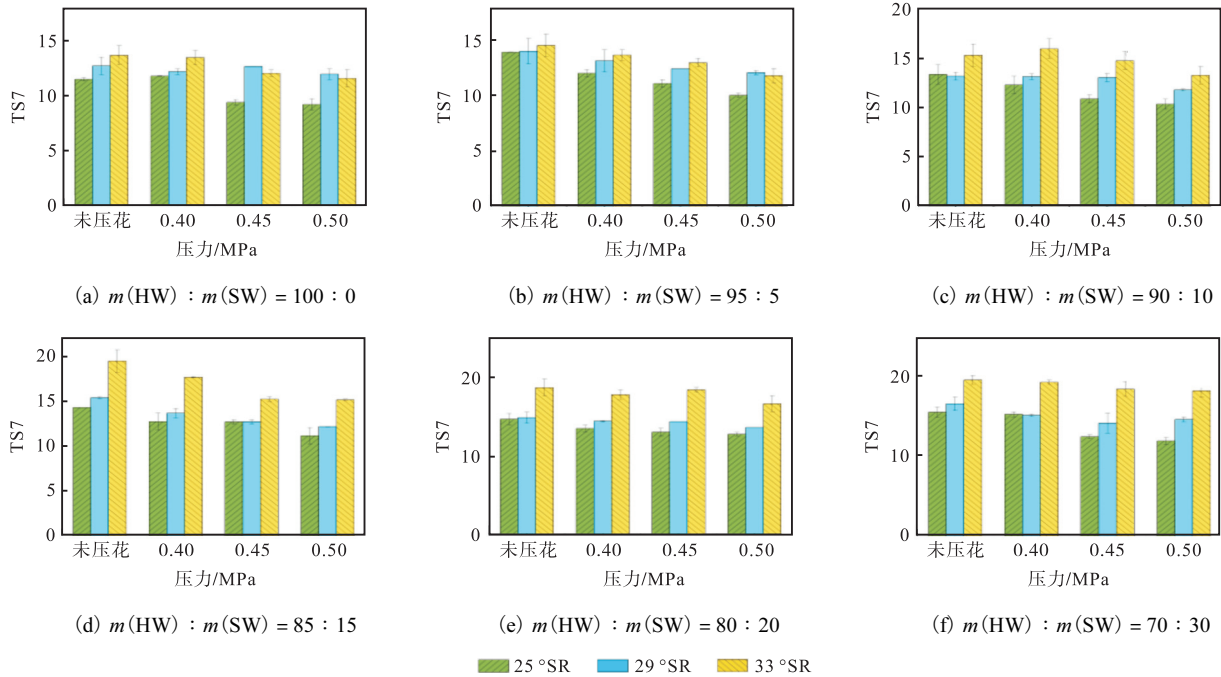


图7 不同打浆度和浆料对比对单层生活用纸压花前后柔软度的影响

Fig. 7 Effects of beating degree and pulp blending ratio on softness of single-ply tissue paper before and after embossing

在同一打浆度下,单层生活用纸的柔软度随阔叶木浆料比例的增加而上升。阔叶木浆料的增加会提高纸张中短纤维的含量,这些短纤维在纸张内部形成的交织网络结构相对疏松,减少了交织点的数量,使纸张在受到外力时更容易顺应外力发生形变,提高了纸张的柔软度。

## 2.6 最佳工艺条件

压花工艺能够显著提高单层生活用纸的松厚度和柔软度,并且随着压花压力的增加,纸样的松厚度和柔软度逐渐提升。然而,压花压力的增加也会导致纸张抗张强度的下降。通过对比分析,压力为0.5 MPa,能够有效提升纸张的柔软度,同时在一定程度上保持合理的抗张强度。实验中使用的压花装置的最大气缸压力为0.5 MPa,无法通过实验验证压力进一步增加后的效果,在现有条件下,0.5 MPa是本实验中较为理想的压力。根据理论分析,存在一个压花压力的平衡点,该平衡点能够在尽可能提高纸张柔软度的同时,保持较高的抗张强度。

打浆度的提高会导致纸张松厚度和柔软度的显著下降。适中的打浆度可以在保证纸张抗张强度的同时,避免过度打浆导致的纤维破坏。29 °SR 的打浆度恰好既能确保纤维适度分丝帚化,形成良好的纤维

交织网络,又不会过度打浆,影响纸张的柔软性。因此,综合考虑各种性能要求,29 °SR 是打浆度最适合的选择。

阔叶木浆的高比例使纸张结构更为疏松,增加孔隙度,能够提高纸张的松厚度和柔软度;但其比例过高会降低纸样的抗张强度,特别是当阔叶木浆比例超过90%时,抗张强度下降较为明显。针叶木浆的长纤维则有助于增强纸张的抗张强度。 $m(\text{HW}):m(\text{SW})=85:15$  这个配比,既保证了纸张的柔软性能,又保证了其强度性能。

在浆料比例  $m(\text{HW}):m(\text{SW})=85:15$ 、打浆度 29 °SR、气缸压力 0.5 MPa 时,压花后单层生活用纸纵向抗张指数下降 27.4%,横向抗张指数下降 31.7%,TS7 值下降 20.8%。在此工艺条件下,可以在提升纸张柔软度的同时,确保纸张的强度满足实际使用需求,从而实现纸张性能的最佳平衡。

## 3 结语

综合考虑浆料配比、打浆度和压花压力的影响,选择的最佳工艺条件为: $m(\text{HW}):m(\text{SW})=85:15$ ,打浆度 29 °SR,气压 0.5 MPa。在此工艺条件下,

柔软度指标 TS7 值下降了 20.8%，纵向抗张指数下降了 27.4%，横向抗张指数下降了 31.7%。这一工艺条件能够在提升纸张柔软度的同时，确保纸张的强度满足实际使用需求，从而实现纸张性能的最佳平衡。本研究为生活用纸生产工艺的优化提供理论依据和方法参考，并为工业生产中在追求高性能纸张的同时解决实际问题提供了思路。此外，考虑到生活用纸的多样化使用需求，后续将进一步研究不同环境中纸张的性能(如湿强度、吸油性等)，优化生产工艺。

#### 参考文献:

- [1] 杨启森,高洪霞. 常见卫生纸的性能分析和评价[J]. 造纸技术与应用, 2023, 51(3): 25-28.
- [2] MORAIS F P, VIEIRA J C, MENDES A O, et al. Characterization of absorbency properties on tissue paper materials with and without “deco” and “micro” embossing patterns[J]. Cellulose, 2022, 29: 541-555.
- [3] 赵金涛,张云龙,林瑜,等. 两种商品木浆的纸浆性能研究[J]. 林产工业, 2020, 57(1): 47-53.
- [4] VIEIRA J C, FIADEIRO P T, COSTA A P. Converting operations impact on tissue paper product properties: a review[J]. BioResources, 2023, 18(1): 2303-2326.
- [5] 李昊津,卫灵君,王亚玲,等. 纸张性能和纤维分子结构、纤维形态的相关性研究[J]. 包装工程, 2023, 44(17): 104-112.
- [6] 陈雪梅,张权,陈铃华,等. 卫生用纸漂白针阔混合浆高浓磨浆工艺研究[J]. 中国造纸, 2024, 43(5): 52-57.
- [7] 彭建军,陈铃华,张权,等. 高浓磨浆对阔叶木浆配抄生活用纸性能的影响[C]//中国造纸学会. 中国造纸学会第十八届学术年会论文集. 南宁:中国造纸学会, 2018: 236-239.
- [8] VIEIRA J C, MENDES A O, CARTA A M, et al. Impact of embossing on liquid absorption of toilet tissue papers [J]. BioResources, 2020, 15(2): 3888-3898.
- [9] ZAMBRANO F, WANG Y H, ZWILLING J D, et al. Micro- and nanofibrillated cellulose from virgin and recycled fibers: a comparative study of its effects on the properties of hygiene tissue paper[J]. Carbohydrate polymers, 2021, 254: 117430.
- [10] MENDES A O, VIEIRA J C, CARTA A M, et al. Influence of tissue paper converting conditions on finished product softness[J]. BioResources, 2020, 15(3): 7178-7190.
- [11] 黄锦华,朱记莲,赵燕. 生活用纸及其制备方法: 201710561124.0[P]. 2017-07-11.
- [12] VIEIRA J C, MORAIS F, MENDES A O, et al. Mechanical and softness characterization of “deco” and “micro” embossed tissue papers using finite element model (FEM) validation[J]. Cellulose, 2022, 29(10): 5895-5912.
- [13] VIEIRA J C, MENDES A O, RIBEIRO M L, et al. Embossing pressure effect on mechanical and softness properties of industrial base tissue papers with finite element method validation[J]. Materials, 2022, 15(12): 4324.
- [14] 张静旖,于成涛. 卫生纸柔软度测量值的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2018, 45(2): 111-113.
- [15] 周弋艳. 玉米芯微纳米纤维素对提高纸张柔软度的应用研究[J]. 造纸化学品, 2021, 33(3): 9-14.
- [16] PARK J Y, MELANI L, LEE H, et al. Effect of pulp fibers on the surface softness component of hygiene paper[J]. Holzforschung, 2020, 74(5): 497-504.

责任编辑: 周建军