

## 科技研究

## 面向特种纸成形质量的流浆箱布浆元件优化策略

张海晖

杭州美辰纸业技术有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8745

[摘要] 特种纸因用途特殊性，对成形质量的均匀性、平滑度及物理性能有着严苛要求，流浆箱作为纸页成形的核心设备，其布浆元件的布浆效果直接决定纸页初始成形状态。本文针对当前特种纸生产中布浆元件存在的布浆不均、流速波动过大、纤维定向紊乱等问题，结合特种纸浆料特性，系统分析布浆元件结构参数对成形质量的影响机制。通过数值模拟与实验验证相结合的方法，从结构改进、材料适配、流场调控三个维度，提出针对性的布浆元件优化策略，解决特种纸成形过程中的常见缺陷，提升纸页成形质量稳定性。

[关键词] 特种纸；成形质量；流浆箱；布浆元件；优化策略；流场调控

## Optimization Strategies for Slurry Distribution Elements in Special Paper Forming Systems

Zhang Haihui

Hangzhou Meichen Paper Technology Co., Ltd.

[Abstract] Special paper production requires stringent standards for uniformity, smoothness, and physical properties of formed paper due to its specialized applications. As the core equipment in paper formation, the slurry distribution elements in the slurry box directly determine the initial formation quality of the paper sheet. This study systematically analyzes the impact mechanisms of slurry distribution element structural parameters on forming quality, addressing common issues in current production such as uneven slurry distribution, excessive flow velocity fluctuations, and disordered fiber orientation. By integrating numerical simulations with experimental validation, the paper proposes targeted optimization strategies from three dimensions: structural improvement, material compatibility, and flow field regulation. These strategies aim to resolve prevalent defects in special paper forming processes and enhance the stability of paper sheet formation quality.

[Key words] specialty paper; forming quality; slurry box; slurry distribution element; optimization strategy; flow field control

随着工业制造、电子信息、新能源等领域的快速发展，特种纸的市场需求持续攀升，其应用场景对纸页成形质量的要求也不断提高。成形质量作为特种纸核心性能指标，直接影响产品的使用效果与应用范围，而流浆箱作为造纸机的“心脏”，承担着浆料均匀分散、稳定输送的关键任务<sup>[1]</sup>。布浆元件作为流浆箱的核心组成部分，负责将浆料从集浆管均匀分配至流道各处，其结构合理性与工作稳定性，直接决定浆料流场的均匀

性、纤维的分散状态，进而影响纸页成形质量。当前，传统布浆元件难以适配特种纸浆料（如高填料、高纤维长径比、高浓度）的特性，易出现布浆不均、流场紊乱等问题，导致特种纸出现定量波动、厚度不均、表面缺陷等质量隐患。因此，开展面向特种纸成形质量的流浆箱布浆元件优化研究，破解布浆过程中的核心技术难题，对推动特种纸产业高质量发展具有重要的理论意义与工程应用价值。

## 1 特种纸成形质量核心要求与流浆箱布浆元件作用机制

相较于普通文化纸与包装纸，特种纸的成形质量评价指标更具针对性，核心围绕均匀性、稳定性与适配性三大维度展开，不同用途的特种纸对各指标的侧重点存在差异，但整体均需满足严苛的精度要求。定量均匀性是特种纸成形质量的首要指标，指纸页单位面积的质量偏差，若偏差过大，会导致纸页物理性能不均，影响后续加工精度，如电子专用特种纸的定量偏差需控制在±0.5%以内。厚度均匀性与定量均匀性密切相关，直接决定纸页的平整度与一致性，对于电池隔膜纸、过滤特种纸而言，定量波动过大会影响其过滤效率与阻隔性能。纤维定向均匀性也是关键评价指标，纤维定向紊乱会导致纸页纵横物理性能差异过大，降低产品的力学稳定性，如特种绝缘纸需严格控制纤维定向偏差，确保纵横抗拉强度比维持在合理范围。此外，纸页表面缺陷（如针孔、条纹、浆团）的数量多少，也直接影响特种纸的外观质量与使用可靠性，是成形质量评价的重要补充指标<sup>[2]</sup>。

## 2 特种纸生产中流浆箱布浆元件存在的主要问题及成因分析

### 2.1 布浆均匀性不足，导致纸页定量与厚度波动

布浆均匀性不足是当前特种纸生产中布浆元件最突出的问题，直接导致纸页定量偏差超标、厚度波动过大，严重影响特种纸成形质量。实际生产中，部分布浆元件的分流结构设计不合理，如布浆器的分流孔尺寸不均匀、湍流发生器角度设置不当，导致浆料在分流过程中流量分配不均，部分流道内浆料流量过大，部分流道流量过小，进而形成纸页的条印等缺陷。此外，布浆元件的流道截面尺寸设计未结合特种纸浆料的粘度特性，导致浆料在流道内的流速分布不均，靠近流道壁面的浆料流速较慢，中心区域流速较快，形成速度梯度，进而导致纤维在流道内分布不均，影响纸页成形的均匀性。同时，布浆元件与集浆管、流道的连接部位存在死角，浆料在死角处易产生滞留、涡流，导致局部浆料浓度升高，喷射至成形网后形成浆团、条纹等缺陷，进一步降低纸页成形质量。

### 2.2 流场稳定性差，纤维定向紊乱

流场稳定性是确保纤维均匀分散、定向合理的关键，而当前部分布浆元件由于结构设计缺陷，理论上可以有稳定的流态，但是由于机械尺寸的精度误差，浆料的压力波动，浓度波动，事实上难以维持稳定的流场状态，导致纤维定向紊乱，纸页纵横物理性能差异过大。传统布浆元件的导流结构多为直

管型，浆料在流动过程中易产生湍流漩涡，湍流强度过大时，会导致纤维缠绕、絮聚，同时破坏纤维的定向状态，使纤维在纸页中随机分布，降低纸页的力学稳定性。此外，布浆元件的出口流道设计不合理，出口流速波动过大，浆料喷射至成形网时的速度不一致，部分区域浆料喷射速度过快，部分区域过慢，导致纤维在成形过程中定向紊乱，出现纸页表面起毛、纵横抗拉强度比超标等问题。另外，布浆元件的表面粗糙度较高，浆料在流动过程中与元件壁面的产生挂浆黏附等情况，易产生局部流速波动，进一步破坏流场稳定性，加剧纤维定向紊乱的程度，尤其对于高纤维长径比的特种纸浆料，更容易造成纸病。

### 2.3 元件磨损严重，使用寿命短且维护成本高

特种纸浆料多含有高硬度填料、纤维杂质等，对布浆元件的磨损较为严重，而当前部分布浆元件采用的材料耐磨性、耐腐蚀性不足，导致元件磨损速度快，使用寿命短，同时磨损后的元件会进一步影响布浆效果，增加维护成本。部分布浆元件采用普通碳钢材质，未进行表面强化处理，浆料中的填料颗粒在流动过程中会对元件壁面产生冲刷磨损，长期使用后，布浆元件的流道尺寸发生变形、分流孔磨损扩大，导致布浆均匀性进一步下降，需要频繁更换元件，增加了生产维护成本<sup>[3]</sup>。对于含有高填料高灰分的纸种，普通材质的布浆元件易发生磨损，元件表面出现冲蚀、剥落等现象，不仅影响流场稳定性，还可能导致浆料污染，进而影响纸页成形质量。此外，布浆元件的结构设计复杂，拆卸、维护不便，每次维护都需要停机较长时间，影响生产效率，进一步增加了生产成本。

### 2.4 适配性不足，难以满足不同特种纸生产需求

特种纸的种类繁多，不同种类特种纸的浆料特性、成形质量要求差异较大，而当前多数布浆元件为通用型结构，未针对不同特种纸的特性进行个性化设计，适配性不足，难以满足多样化的生产需求。例如，高填料特种纸需要布浆元件具备更强的抗堵塞能力与分流精度，而长纤维特种纸则需要布浆元件具备更强的纤维分散能力，通用型布浆元件无法同时兼顾这些需求，导致在生产不同特种纸时，成形质量波动较大。此外，部分布浆元件的结构参数无法调节，生产过程中难以根据浆料特性、生产车速的变化，调整布浆效果。

## 3 面向特种纸成形质量的流浆箱布浆元件优化策略

### 3.1 布浆元件结构优化，提升布浆均匀性与流场稳定性

为解决布浆不均、流场不稳的问题，结合特种纸浆料的特性，从分流结构、导流结构、出口流道三个方面对布浆元件进行结构优化，实现布浆均匀性、流场稳定性两方面的提高。分

流结构上摒弃传统的均匀分流孔设计，采用变径分流孔结构，根据特种纸浆料的粘度、流量特性计算出各个分流孔的尺寸和分布间距，使每个分流孔的流量分配误差控制在±1%以内。同时在布浆器内设置缓冲腔，缓冲腔为弧形结构，减小浆料进入分流孔时流速的波动，破坏湍流漩涡，达到浆料平稳分流的目的，防止局部浆料浓度过高。对导流结构进行了优化设计，将传统的直线型导流片改为弧形导流片，弧形的角度要根据浆料的流速、纤维的特性来精心设计，减小浆料和导流片间的摩擦力，降低湍流的强度，使纤维均匀分散并控制纤维的定向。另外，在导流片表面加装微凸结构来进一步打散浆料里的纤维絮聚体，提高纤维分散度，防止纤维缠结。出口流道采用渐缩型出口流道结构，流道截面积由入口到出口逐渐扩大，使浆料流速平稳增大，减小出口截面流速波动，保证浆料喷射到成形网上的速度一致，提高纸页成形的均匀性。另外对布浆元件和集浆管、流道的连接部位进行优化，采用错排过渡结构，消除流动死角，防止浆料滞留、涡流产生，减少浆团、条纹等表面缺陷<sup>[4]</sup>。

### 3.2 增强耐磨性与耐腐蚀性，延长使用寿命

根据特种纸浆料的磨损性、腐蚀性特点，对布浆元件的材料选择及表面处理工艺进行优化，提高元件的耐磨性、耐腐蚀性，延长使用寿命，降低维护成本。在材料选择上，摒弃普通高分子或不锈钢材质，根据特种纸浆料的特性选择合适的高性能材料，对高硬度填料特种纸采用高强度耐磨复合材料(PEEK)作为布浆元件基材，该材料耐磨性好、韧性大，能抵抗填料颗粒的冲刷磨损，对含有腐蚀性成分的特种纸采用PEEK等材质，这类材料耐磨损性好，不易被磨损，减少浆料污染。复合材料材质元件采用表面改性工艺，提高表面光滑度和耐磨性，减小浆料与元件壁面的摩擦力，防止纤维吸附在元件表面。另外，对布浆元件的分流孔、导流片等关键部位做精密抛光处理，降低表面粗糙度，减小浆料流动阻力，提高流场稳定性，减少纤维团聚和吸附。

### 3.3 实现纤维定向精准控制，适配特种纸需求

针对特种纸纤维定向要求高、流场调控难度大的问题，利用数值模拟技术对布浆元件的流场进行精确控制，达到纤维定向合理控制的目的，满足不同特种纸成形质量的要求。首先用计算流体力学(CFD)数值模拟技术建立布浆元件流场仿真模型，模拟不同的结构参数、浆料特性下流场分布规律，分析流速、压力、湍流强度等流场参数对纤维分散和定向的影响，

给流场调控优化提供理论依据。根据模拟结果来优化布浆元件的流道尺寸、导流片角度、缓冲腔结构等参数，调节湍流强度和流速分布，使流场状态符合特种纸纤维特性以及成形质量要求。例如，对要求纤维定向性好的特种绝缘纸来说，通过优化导流片角度和流道结构，增强流场的定向引导作用，使纤维沿纸页纵向定向排列，提高纵横向抗拉强度比；对于要求纤维随机分散的过滤特种纸来说，适当增大湍流强度，打破纤维定向，使纤维均匀分散，提高过滤效率。其次，在布浆元件出口处设置可调节导流装置，通过调节导流装置的角度来改变浆料的喷射方向和流速，从而实现纤维定向的精确控制，满足不同种类特种纸的生产要求。同时在生产中根据浆料的浓度、纤维种类、生产车速的变化，实时调节导流装置的角度以及布浆流量来保证流场的稳定，使纸页的成形质量一致。除此之外，在布浆元件内部安装流量监测传感器来实时检测各流道的浆料流量，当出现流量偏差的时候，可以及时的反馈并且调节分流结构来控制流场，从而进一步提升布浆的均匀性以及纤维定向控制精度。

## 4 结论

本文针对特种纸生产中布浆元件存在的布浆不均、流场不稳、磨损严重及适配性不足等问题，从结构优化、材料适配、流场调控三个维度提出优化策略。优化后的布浆元件可显著提升布浆均匀性与流场稳定性，改善纤维定向状态，延长使用寿命，适配不同特种纸生产需求，为特种纸高效优质生产提供可靠技术支撑。

## [参考文献]

- [1] 欧阳菲. 基于数学建模的造纸设备流浆箱流量均匀性调控策略研究 [J]. 造纸装备及材料, 2025, 54 (03): 10-12.
- [2] 唐传腾. 改进流浆箱设计改善成纸匀度 [J]. 纸和造纸, 2024, 43 (06): 4-6.
- [3] 吕定云, 江理勇, 葛振宇, 等. supHeadbox 造纸流浆箱控制解决方案 [J]. 工业控制计算机, 2022, 35 (11): 59-61+64.
- [4] 付裕. 智能控制技术流浆箱控制系统与故障分析 [J]. 造纸科学与技术, 2022, 41 (05): 77-79+91.

作者简介：张海晖，出生年月：1969年5月13日，男，汉族，籍贯：浙江省杭州市，学历：大专，研究方向：从事造纸行业设备、装置的研发设计。