

墨水粒度控制一体化解决方案

摘要：随着印刷行业向数字化、高精度化转型，喷头堵塞与储存沉淀成为制约墨水产品质量与生产效率的核心痛点，其根源均与墨水粒度分布不均、尾端大颗粒残留及颗粒分散稳定性不足直接相关。奥法美嘉打造墨水粒度控制一体化解决方案，精准解决墨水堵头与沉淀难题，实现墨水生产全流程粒度精准管控与稳定性保障。本文结合墨水生产全流程，详细阐述该一体化解决方案的核心架构、产品应用及实际质控价值，为墨水行业质控升级提供技术参考与实践支撑。

关键词：墨水；粒度检测；一体化解决方案；喷头堵塞；沉淀稳定性

1 行业背景

墨水行业作为印刷、工业制造等领域的核心配套产业，正处于数字化、环保化、功能化三重升级周期，市场规模稳步扩张。据国际权威机构 Smithers 2025 年报告预测，全球墨水市场将从 2025 年的 358 亿美元，以 2.4%–2.9% 的复合增速增长，2030 年有望突破 400 亿美元。中国作为全球主要生产和消费市场，年增速保持在 6%–8%，其中包装、纺织、工业打印是核心增长场景，占整体市场份额超 70%[1]。

未来行业关注点集中在绿色合规、精密适配、成本可控与供应链稳定。值得注意的是，随着喷头精度持续提升与连续化生产模式普及，墨水稳定性与防堵塞问题成为关键痛点——墨水颗粒不均、沉降析出、流变失控等问题，墨水行业的技术迭代与市场竞争，最终都将落脚于解决堵塞、提升稳定性这一基础刚需，这也是行业高质量发展的核心突破口。

例如，高性能墨水的基石在于对颜料颗粒尺寸的精确控制。专业制造过程要求将颜料颗粒研磨至 100-200 纳米的纳米级别，这一

尺寸范围能有效防止打印头堵塞，并确保墨水具备优异的流动性和鲜艳的色彩表现。



图 1：染料油墨图[2]

墨水全生产流程围绕“粒度形成-粒度管控-稳定性保障”三大核心展开，具体可分为七大关键环节：原料入厂（颜料、树脂、溶剂、助剂等）→ 预处理混合（将各类原料均匀混合，初步分散）→ 均质研磨（核心粒度形成环节，通过均质设备将大颗粒细化为符合要求的小颗粒）→ 调配分散（添加分散剂、粘度调节剂等，优化颗粒分散效果）→ 过滤除

杂（去除残留大颗粒与杂质）→ 成品检测（全面验证质量指标）→ 储存出厂。



图 2：墨水生产流程图

各环节均与墨水堵头、沉淀两大痛点直接相关：均质研磨环节若处理不彻底，会直接产生尾端大颗粒，成为后续喷头堵塞的核心隐患；调配分散环节若分散效果不佳，颗粒间作用力失衡，会为储存沉淀埋下伏笔；过滤除杂环节若无法精准识别残留大颗粒，会让前期管控前功尽弃；储存环节若缺乏稳定性监测，会导致墨水提前团聚、沉降，失效报废。

2 墨水的质量关键控制点

结合墨水生产流程与行业痛点，墨水生产质控的核心需求可概括为两点：一是彻底清除墨水中的尾端大颗粒，确保成品墨水中无超标大颗粒，从根源上解决喷头堵塞问题；二是提升墨水颗粒分散稳定性，精准预判墨水储存稳定性与产品效期，彻底解决储存沉淀难题。

2.1 墨水的粒度控制

粒度控制是高端墨水品质的核心命脉，更是决定喷墨系统长期稳定运行的关键指标。高性能墨水必须实现粒径分布高度均一。

只有达到纳米级精细化分散，墨水才能具备优异的流动性、着色力与色彩饱和度，满足高精度打印需求。反之，墨水中一旦存在超标尾端大颗粒，极易造成喷头微通道堵塞、断线、飞墨、色差等致命问题，直接影响生产效率与喷头寿命。

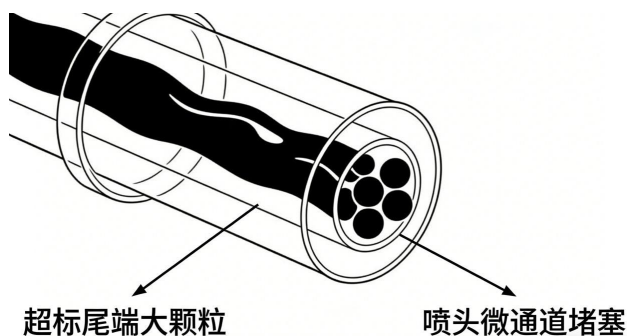


图 3：尾端大粒子造成喷头堵塞图

因此，在墨水生产全流程中，对颗粒尺寸进行实时、精准、一体化检测，从源头剔除大颗粒隐患，是保障高端墨水品质、提升产品竞争力的必要手段。

2.2 墨水的稳定性控制

墨水的另一大核心痛点是储存稳定性差、易沉淀分层，且企业无法精准预判产品的效期，常出现产品未到保质期就已沉淀失效的情况，造成大量库存损耗墨水的稳定性。为确保墨水长效使用性能，企业必须监测墨水在生产、储存、运输过程中的粒度稳定性，规避颗粒团聚、分层、粒度异变等问题。稳定性监测需要分析粒度的变化趋势，提前预判隐患，这就对检测产品的专业性与系统性提出了更高要求。

团聚颗粒会直接导致喷头堵塞、墨滴轨迹偏移、打印重影 / 断墨等问题出现。

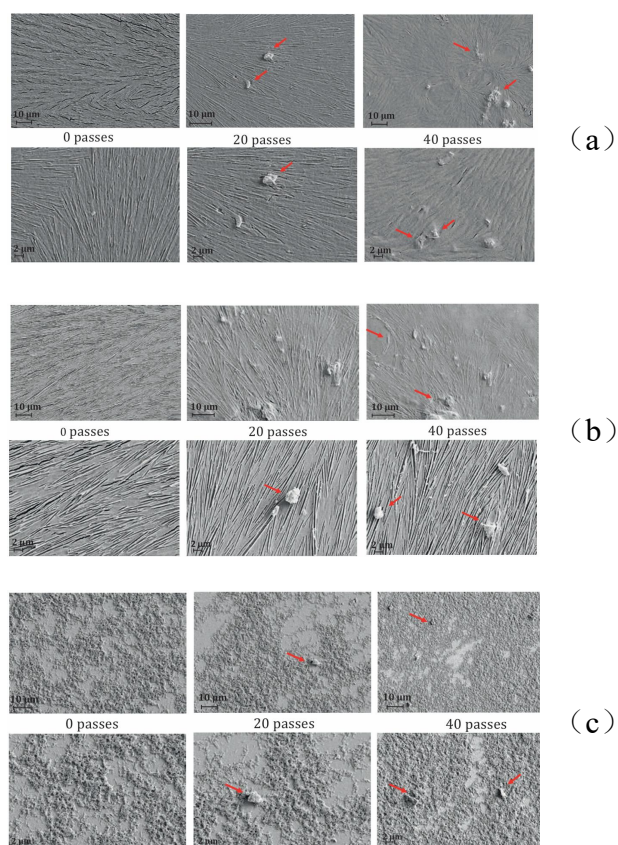


图 4: 三种油墨重复剪切后的电子显微镜图像 (FESEM, 加速电压 15kv);

(a)油墨 a, (b)油墨 b, (c)油墨 R--箭头表示结块的形成[3]

同时, GB/T13217.3-2022 等行业标准对墨水的均匀性、分散稳定性提出严苛要求。静置观察、离心分层、普通显微镜观测等传统检测手段因缺乏精准的“颗粒识别”与“稳定性预判”能力, 难以满足标准需求。[4]奥法美嘉一体化解决方案, 以“精准检测为眼睛, 均质处理为手段, 稳定性分析为保障”, 通过核心产品的协同应用, 从源头控制大颗粒、提升稳定性, 让墨水均一性与稳定性达到行业高端标准, 彻底摆脱堵头与沉淀的质量困扰。

3 墨水行业粒度控制一体化解决方案

奥法美嘉针对墨水生产中粒径不均、团聚沉降、喷头易堵、批次不稳等痛点, 提供从研磨分散→纳米均质→精准检测→稳定质控的全流程装备与方案。



图 5: 奥法美嘉墨水行业一体化解决方案

在研发阶段, 面对颜料分散不充分、粒径分布宽、大颗粒难以精准表征、配方稳定性难预判等难题, 可提供纳米激光粒度仪、颗粒计数器、稳定性分析仪等检测设备, 实现粒径精准测试、大颗粒定量监控、储存稳定性快速评估, 为配方优化提供可靠数据支撑。

在生产阶段, 面对研磨效率低、颗粒易二次团聚、批次差异大、量产放大难等问题, 可提供高压微射流均质机, 实现颜料纳米级解团聚, 让粒径更均匀、分散更稳定, 从源头降低喷头堵塞风险。

在质检阶段, 面对成品放行标准不统一、大颗粒漏检、批次一致性难保证等痛点, 可提供离线粒度检测与大颗粒计数系统, 对每批次墨水进行严格复检, 确保出厂产品无超标大颗粒。

同时, 方案支持全程在线监控, 可实现在线粒径监测、实时数据追溯与过程闭环控制, 真正做到从原料、生产到成品的全链条质控。

整套方案支持从实验室研发到工业化量产的线性放大，设备材质洁净、运行稳定，可适配水性、溶剂型等各类高端墨水，全面提升产品储存稳定性、打印流畅度与使用寿命，为高品质墨水规模化生产提供可靠支撑。

4 推荐设备

4.1 PSI 高压微射流均质机—均质研磨

高压微射流均质机是墨水行业最高精度的均质细化设备，作为一种新式制备设备越来越受到高端墨水行业的关注。



图 6：PSI 高压微射流均质机家族

PSI 微射流均质机产品线覆盖实验室型、中试型、生产型三大核心系列，各系列型号按压力、处理量、配置梯度划分，以下为各阶段主推型号及适配场景，优先推荐工艺放大无缝衔接的型号，减少小试到量产的工艺调试成本。

我们使用 PSI-20 小试型微射流高压均质机，1400Bar 的压力均质 4 次，并采用美国 Entegris (PSS) 制造、生产的纳米粒度分析仪 Nicomp Z3000 进行 PSD 粒度分析，结果如下：

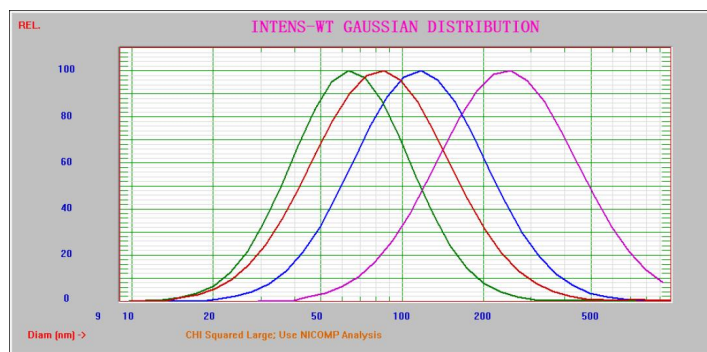


图 7: Gaussian 粒径分布图

上图四条曲线分别表示均质 1~4 次的 PSD 检测结果谱图，紫、蓝、红、绿分别代表 1400Bar 压力下均质 1、2、3、4 次，未均质前，原料粒度分析平均粒径检测结果为 1957nm，当均质 1 次后，粒径检测结果为 291.4nm，均质 2 次后粒径减小为 135.8nm，随着均质次数的增加，粒径所减小的幅度越来越小，最终处理 4 次后该墨水粒径检测结果为 67.5nm。

4.2 Nicomp 纳米激光粒度仪—平均粒径检测

平均粒径（以 D50 为主）是墨水粒度检测的核心指标，其数值直接关联墨水的印刷光泽度、色彩均匀性与附着力：平均粒径过大，易导致印刷表面粗糙、色泽暗淡；粒径过小，则可能引发颗粒团聚，影响墨水稳定性。

Nicomp 纳米激光粒度仪可精准检测纳米级至微米级的颗粒平均粒径，清晰识别粒度分布中的异常峰，预判大颗粒生成的趋势，为后续均质、过滤环节提供提前预警。



图 8: Nicomp 纳米激光粒度仪

粒径检测范围 0.3nm-10 μ m, ZETA 电位检测范围为 $\pm$ 500mV

搭载 Nicomp 多峰算法,可以实时切换成多峰分布观察各部分的粒径。

高分辨率的纳米检测, Nicomp 纳米激光粒度仪对于小于 10nm 的粒子仍然现实较好的分辨率和准确度。

图 9 的粒度分布是采用固定 90 度散射角,检测稀释了 500 倍的水性油墨。这是一个典型的 DLS 检测方法。有一个峰值在 30nm,主要的粒子都在这个峰附近分布,而另一个峰值接近 100nm,可能聚集在一起。图 10 是同样的油墨,不进行稀释,直接在背散射的模式下检测出的结果。

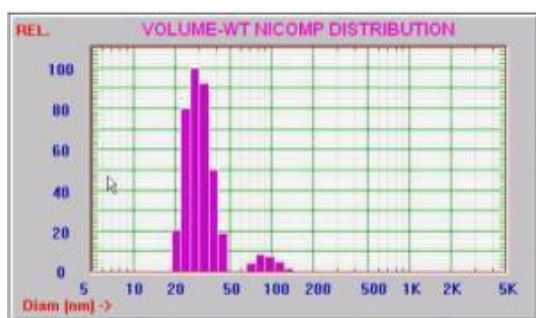


图 9: 稀释 500 倍 Nicomp 粒径分布

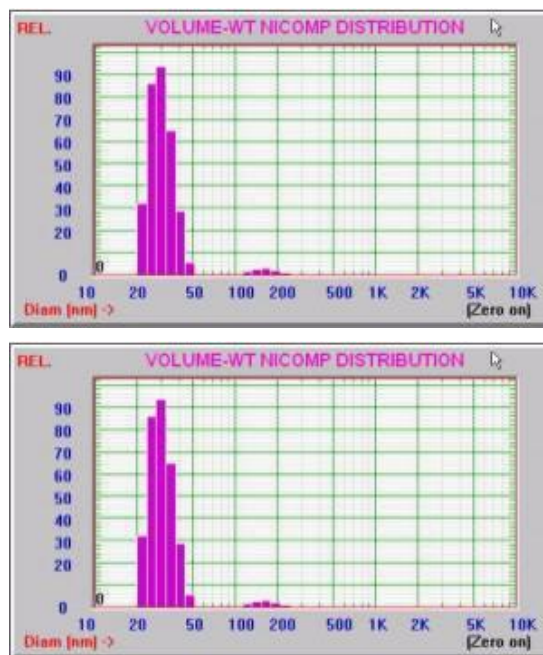


图 10: 未稀释油墨 Nicomp 粒径分

4.3 AccuSizer 颗粒计数器—小粒子和尾端大粒子检测

小粒子（过细颗粒）与尾端大粒子（超标大颗粒）的检测，反映墨水的潜在质量隐患，也是行业内传统检测最难精准把控的环节。

小粒子易导致墨水团聚、稳定性下降，缩短储存周期；尾端大颗粒则易堵塞印刷头、刮伤印版，引发糊版、露底等印刷缺陷，尤其对于数字印刷墨水，尾端大颗粒的危害更为突出。

AccuSizer 颗粒计数器作为尾端大颗粒检测的“专属利器”，精准检测 0.5-400 μ m 范围内的尾端大颗粒，部署于均质研磨后、过滤前的关键节点，检测尾端大颗粒的浓度与

粒径，从根源上解决喷头堵塞的行业痛点。



图 11: AccuSizer A7000 APS 颗粒计数器

检测范围为 $0.5\mu\text{m}$ - $400\mu\text{m}$ （可将下限拓展 $0.15\mu\text{m}$ ）。

$0.01\mu\text{m}$ 的超高分辨率，AccuSizer 系列具有 1024 个数据通道，能反映复杂样品的细微差异，为研发及品控保驾护航。

灵敏度高达 10PPT 级别，即使只有微量的颗粒通过传感器，也可以精准检测出来。

颜料的分散受多个因素影响，搅拌时间是其中之一。需要确定最佳搅拌时间以减少分散体中尾端大颗粒的数量。监控搅拌时间同样重要，因为过度均质化可能会导致颗粒粒径增加。

我们对品红色和青色两种颜料分散体进行分析，以监测搅拌时间对尾端大颗粒的影响。图 12 和图 13 显示了经过 50、70 和 90 分钟搅拌的品红色样品的结果。尾部颗粒从 4×10^6 颗粒/mL 减少到 2×10^5 颗粒/mL。

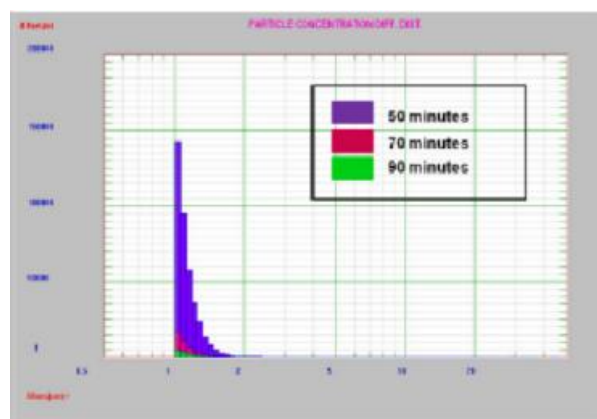


图 12. 搅拌对品红色样品的影响

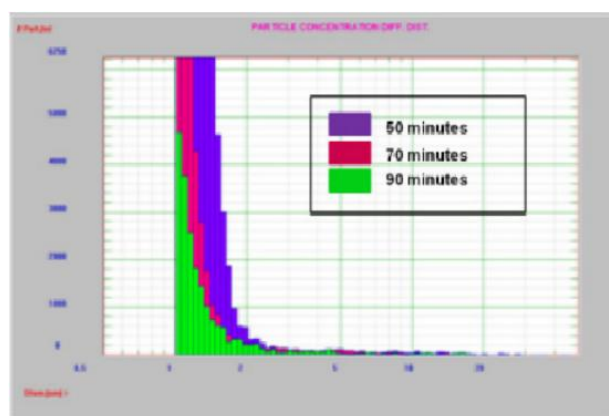


图 13. 品红色样品尾端大颗粒放大图

大于 1 微米的大颗粒浓度：

50 分钟： 4×10^6 颗粒/mL

70 分钟： 5×10^5 颗粒/mL

90 分钟： 2×10^5 颗粒/mL

图 14 所示的青色样品也随着搅拌时间减少了超大颗粒的数量。颗粒浓度从 900 万颗粒/mL 减少到仅仅 10 分钟搅拌后的大约 300 万颗粒/mL。

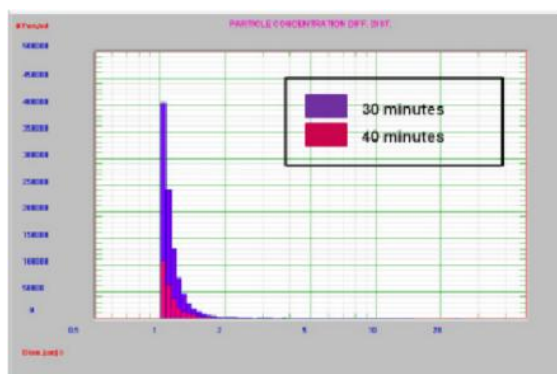


图 14. 搅拌对青色样品的影响

4.4 LUM 稳定性分析仪—稳定性分析检测

相较于即时稳定性，企业更需要精准知道墨水能稳定储存多久，即产品的实际效期。奥法美嘉 LUMISIZER 稳定性分析仪通过加速沉降测试技术，可精准检测颗粒的沉降速度、团聚趋势，从而预判墨水的实际稳定效期，明确墨水多久后会出现沉淀、分层等不稳定现象。



图 15: LUMiSizer 稳定性分析仪

快速、直接测试稳定性，无需稀释，温度范围宽广

可同时测 12 个样品，测量及辨别不同的不稳定现象及不稳定性指数。

加速离心，最高等效 2300 倍重力加速度。

4.5 Nicomp Z3000 纳米粒度及电位分析仪—稳定性分析检测

Nicomp Z3000 纳米粒度及电位分析仪可精准检测墨水的 ZETA 电位数，成为预判墨水即时分散稳定性的核心工具。在成品检测环节，通过 ZETA 电位检测，验证墨水的分散稳定性是否达标，为产品质量提供核心保障。



图 16: Nicomp Z3000 纳米粒度及电位分析仪

Zeta 电位电势是粒子或乳状液滴表面电荷的量度。这种电荷是分散稳定性的标志。ZETA 电位接近零的分散体通常不稳定，容易聚集或相分离。ZETA 电位越高，表明稳定性越好。

Nicomp 使用基于频谱分析法(frequency)和相位分析光散射(PALS)两种技术来测量 zeta 电位。测量可以在低电场强度下进行，这对脆弱的样品，如蛋白质或其他生物分子来说要温和得多。Zeta 电位用于测试颗粒之间的排斥力，是判断体系未来是否能保持稳定性的表征项目。

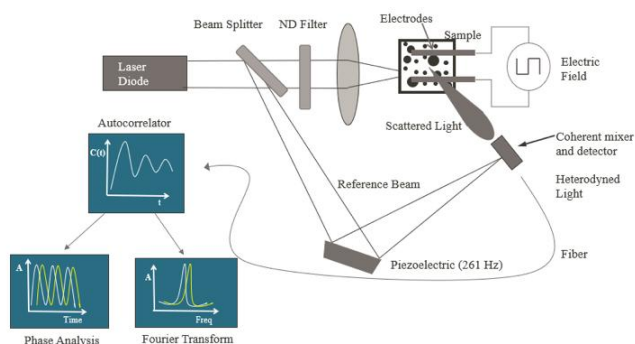


图 17: Zeta 电位原理图

4.6 Entegris 滤芯-过滤

过滤是墨水粒度管控的收尾环节，也是确保成品粒度达标的最后一道防线，其核心作用是去除墨水中残留的尾端大颗粒、杂质颗粒，最终校准墨水粒度，减少印刷隐患。过滤环节的管控，不仅需要合理设置过滤参数，更需要实时验证过滤效果，确保过滤后的墨水粒度完全符合标准，而这一过程离不开精准的检测数据支撑。

Entegris-Anow 是一家高分子微孔膜过滤企业，专业从事 MCE、Nylon、PES、PVDF、PTFE 等(膜孔径为 $0.03\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$)微孔膜的研发及生产，具有二十多年服务与医药客户经验，并为全球生物制药、医疗器械、食品饮料、实验室分析、微电子及工业等领域的客户提供过滤，分离和净化解决方案



图 18: Entegris 滤芯

5 结论

喷头堵塞与储存沉淀是墨水行业的两大核心痛点，直接制约墨水产品质量、生产效率与企业发展，而精准的粒度检测与系统的质控闭环，是破解这两大痛点、实现墨水质控升级的关键。奥法美嘉墨水粒度检测一体化解决方案，整合 Nicomp 多峰粒度仪、AccuSizer 颗粒计数器、ZETA 电位分析仪、LUMISIZER 稳定性分析仪等核心产品，搭配均质设备与智能调控系统，构建了“检测识别-均质细化-稳定性分析-闭环调控”的全流程质控体系，精准实现了大颗粒的精准识别与清除、墨水稳定性的精准预判与产品效期的科学验证。

该解决方案不仅彻底破解了墨水行业的两大核心痛点，还实现了墨水质控模式的升

级与生产流程的优化，帮助墨水企业降本增效、提升产品竞争力，为墨水行业质控升级提供了可靠的技术支撑与实践方案。助力更多墨水企业实现质控升级，推动墨水行业向高品质、智能化、绿色化方向高质量发展。

参考文献

- [1] Smithers. The Future of Global Ink Markets to 2030[R]. UK: Smithers, 2025.
- [2] 数码喷墨印花墨水现状与发展趋势 [J]. 网印工业, 2020 (10):5-8.
- [3] Cox D, Wylie B, Stringer J. Novel device for determining the effect of jetting shear on the stability of inkjet ink[J]. Journal of Print and Media Technology Research, 2021, 10(1): 1-13.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 13217.3-2022 液体油墨 第3部分: 细度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.