



中华人民共和国国家标准

GB/T 47122.2—2026/IEC 62899-302-2:2018

印刷电子 喷墨印刷设备 第2部分：基于成像的液滴体积测量

Printed electronics—Inkjet printing equipment—
Part 2: Imaging based measurement of droplet volume

(IEC 62899-302-2:2018, Printed electronics—Part 302-2: Equipment—
Inkjet—Imaging-based measurement of droplet volume, IDT)

2026-01-28 发布

2026-01-28 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 液滴体积测量	1
4.1 总则	1
4.2 喷墨液滴体积的测量过程	3
附录 A (资料性) 测量飞行中液滴体积的主要因素	5
A.1 印刷电子中的喷射液滴体积	5
A.2 喷墨液滴体积公式	8
A.3 结果	8
参考文献	10
图 1 灰度液滴尺寸 1 (“原生液滴”)~7 号的示意图	1
图 A.1 放大的液滴灰度图像	5
图 A.2 阈值对二进制图像的影响:左侧阈值为 25,右侧阈值为 75	6
图 A.3 适用传统透镜在焦平面(FP)附近成像的物体视像高度	7
图 A.4 传统透镜在图像平面上的尺寸失真百分比示例	7
图 A.5 喷墨打印的液滴、拖尾和卫星液滴阴影图	8

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 47122《印刷电子 喷墨印刷设备》的第 2 部分。GB/T 47122 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：基于成像的液滴喷射速度测量；
- 第 2 部分：基于成像的液滴体积测量；
- 第 3 部分：基于成像的液滴方向测量。

本文件等同采用 IEC 62899-302-2:2018《印刷电子 第 302-2 部分：设备 喷墨 基于成像的液滴体积测量》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《印刷电子 喷墨印刷设备 第 2 部分：基于成像的液滴体积测量》；
- 用资料性引用的 GB/T 47122.1 替换了 IEC 62899-302-1(见第 4 章和参考文献)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国印刷机械标准化技术委员会(SAC/TC 192)归口。

本文件起草单位：武汉国创科光电装备有限公司、杭州宏华数码科技股份有限公司、北京博源恒芯科技股份有限公司、深圳市墨库新材料集团股份有限公司、山东中康国创先进印染技术研究院有限公司、爱司凯科技股份有限公司、深圳市润天智数字设备股份有限公司、深圳市汉森软件股份有限公司、北京方正印捷数码技术有限公司、理光(中国)投资有限公司、捷蓝打印技术(苏州)有限公司、北人智能装备科技有限公司、广东阿诺捷喷墨科技有限公司、杭州锐尔发科技有限公司、北京至一中和科技有限公司、广东国创科光电装备有限公司、广东省东莞市质量技术监督标准与编码所、中国印刷科学技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：陈建魁、唐伟、银倩琳、何增良、詹彤宇、孙志、明亚强、刘琳、刘银平、陈建、王磊、徐星、江洪、李龙良、何伟、杨军昌、陈华慧、李会杰、长岭良平、张立海、谭呈明、王艳、宋华明、龚煌、王策鑫、谢永林、田静、吴琼、付宇、潘浩、叶志辉、杨倩。

引 言

喷墨技术利用微型喷嘴来精确喷射墨滴。印刷过程中,这些墨滴被图案化地喷射到基材上。喷墨技术是一种成熟的技术,已广泛应用于家庭、商业和工业领域。在使用喷墨技术时,液滴的体积能精确控制到 0.1 pI。此外,液滴能精确到微米级别地转移在基材上。由于这些特性和其他特性,喷墨技术已经成为电子器件图案化、药物调配、高精度工业应用等领域最强大的工具之一。与传统的光刻工艺不同,电子领域的图案化喷墨技术是一种增材工艺,在添加多层图案时无需去除任何已沉积的材料。因此,喷墨技术显著减少了往往非常昂贵的材料的浪费,同时也更加环保。GB/T 47122 旨在提供一种标准的喷墨测量方法,拟由 5 个部分构成。

- 第 1 部分:基于成像的液滴喷射速度测量。
- 第 2 部分:基于成像的液滴体积测量。
- 第 3 部分:基于成像的液滴方向测量。
- 第 4 部分:喷墨印刷网点位置评估的介质。
- 第 5 部分:喷墨印刷的主要特性。

随着喷墨技术的应用范围不断扩大,更加精确地从喷墨头中喷射更多种类的材料。对于新的和传统的应用来说,都需要正确测量喷墨打印头喷出的液滴状态,以便评估和控制喷射行为。在喷墨制造系统中,基于视觉的测量技术被广泛应用,因为通过视觉图像能获得对飞行行为的直观理解。从液滴图像中获得的喷射性能参数中,液滴喷射速度和液滴体积是最常测量的两个参数。

通过使用基于视觉的测量系统获得的关于喷墨液滴形成和特性的信息,开发人员能调整墨水配方和喷射参数,以提高性能。

但请注意,由于没有标准的测量程序,因此根据测量方法的不同,所测量的喷射性能和评估结果可能会有很大差异。由于缺乏公平的测试方法,工艺工程师可能难以评估墨水和喷墨打印头制造商提供的喷射性能数据表,从而导致潜在的不可信结果。

印刷电子 喷墨印刷设备

第 2 部分：基于成像的液滴体积测量

1 范围

本文件描述了基于飞行液滴测量系统获得的图像来确定喷墨液滴的精确体积的方法。

本文件不适用于使用干涉条纹的成像系统,如全息摄影或相位多普勒测速法。本文件不仅限于按需喷墨系统,但不适用于连续喷墨或液体分配系统。本文件包括对上述测量问题的描述和对测量精度局限性的考虑。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液滴体积 droplet volume

通过单次事件成像测量从喷墨打印头喷嘴喷射出的液体量。

注：对于设计驱动脉冲产生多个次级液滴合成较大液滴的单次事件(例如,为了在沉积时形成特定的灰度图像值),液滴体积指的是合并后的较大液滴,而不是较小的组成部分次级液滴。

3.2

原生液滴体积 native drop volume

通过单次事件中灰度喷墨打印头形成多个次级液滴的最小次级液滴的液体量。

注：原生液滴(或拖尾或卫星液滴)可能太小,无法通过闪光成像进行精确测量,但飞行中合并的卫星液滴可能足够大,能用于液滴分析系统测量(见图 1,表示飞行中灰度液滴的相对尺寸)。

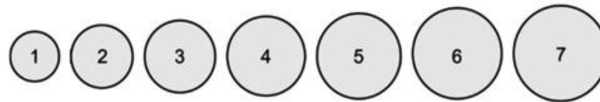


图 1 灰度液滴尺寸 1(“原生液滴”)~7 号的示意图

4 液滴体积测量

4.1 总则

4.1.1 概述

本文件涉及通过喷墨打印头喷嘴飞行液滴的高速闪光图像来精确测定喷墨液滴体积。在工业喷墨打印电子应用中,相对精确的(而非绝对)液滴体积是有用的。较短的闪光持续时间可避免液滴图像出

现明显的运动模糊。本文件考虑了两种广泛应用于测量喷墨液滴速度的闪光成像场景,因为它们提供了略有不同的液滴体积信息。包含名义上相同且位置相似的重复产生的液滴的图像能为体积测量提供平均尺寸,而单次事件图像则提供了在体积测量过程中产生的尺寸和尺寸变化以及形心位置的测量。附录 A 中 A.1 提供了相关特定仪器局限的更多信息。

如果流体在浅色背景下显得较暗,则阴影成像能很容易地确定单个喷墨液滴的尺寸。然而,液滴宜被清晰地聚焦,并且光学图像具有适当的像素分辨率和背景强度,同时背景强度的变化较小。此外,由于闪光期间液滴运动造成的图像模糊对液滴尺寸确定的影响宜尽可能小。对于液滴来说,背景强度水平、折射和衍射都能改变其表观图像尺寸。如果液体不是完全不透明,那么折射通常会在图像中心产生一个明亮的斑点。由于球形液滴形状最有利于进行准确且快速的在线图像分析和体积转换,因此所有飞行中的测量都宜在同一单次脉冲事件产生的任何次级液滴(和卫星液滴)已合并,且任何液滴形状振荡已完全消失的情况下进行。通过假设液滴为几何球面且图像关于焦点平面对称,结合光学系统的线性校准(单位为微米/像素),再从暗区的直径(像素)或面积(覆盖的像素数量)推断液滴的体积。精确的拟合算法可确定到亚像素级别的液滴尺寸,但也依赖于对图像中液滴边界位置的假设。如果使用合适的可追溯方法进行校准,这能提供液滴的绝对体积。例如,通过测量已知数量和密度的液滴重量,可得到平均液滴体积,然后将其与液滴测量系统推导出的体积进行比较。

更常见的是,在液滴测量系统中放置已知尺寸的标准参照物,并使用与喷墨液滴相同的光学条件对其进行成像和分析。这样可在不进行绝对校准的情况下,能对液滴的相对体积进行比较。

4.1.2 体积测量与液滴形状稳定过程

原则上,一旦液滴从喷墨打印头喷嘴喷出,如果蒸发损失或液滴合并可忽略不计,那么它们的体积就不会发生变化。然而,液滴的最终形状可能会与其喷射时的形状发生显著变化,直到它们达到其最终形态(见图 A.5)。准确的飞行中测量都是分析球形液滴,避免分析拖尾喷射形状(或旋转的非球形液体形状),因为这些形状在(二维)图像焦平面上可能并不对称,因此可能无法转换为体积。在印刷电子和其他应用中,使用的某些喷墨流体在所有喷射条件下并不总是形成完全平滑或球形的液滴。在这种情况下,液滴分析系统提供的结果可能不太准确(甚至可能具有误导性)。例如,高度剪切变稀的高黏度流体、凝胶以及含有大颗粒的流体。使用多次事件成像的精确液滴体积测量系统还需要喷墨打印头非常稳定的喷射,并避免喷墨打印中的首滴效应和喷射爆发效应。

4.1.3 成像光学

按需喷墨液滴的运动速度在 $5\text{ m/s}\sim 10\text{ m/s}$,通常需要使用亚微秒级的高功率闪光照明以及具有 10 倍(或更高)放大倍数的高分辨率数字相机,以便通过阴影成像技术在液滴飞行中测量其体积。远心光学设计和高功率 LED 闪光灯能提供(背景)照明和拥有足够聚焦深度的成像条件,这些条件足以使用液滴分析系统对喷墨液滴体积进行准确测量。适当的闪光延迟时间能将液滴定位在光学视场的中心附近,以便准确测定液滴体积。光学视场由放大倍数和相机传感器面积决定,通常覆盖几百微米。在单次事件闪光强度受限的情况下,多次事件成像会增加背景图像的水平,但这会降低可实现的液滴体积准确性。考虑到单次事件闪光强度的局限性,多次事件成像虽然会增加背景图像强度级别,但这会降低可实现的液滴体积准确性。从最近对图像分析误差的研究中可明显看出,液滴分析系统最好指定以灰度强度级别来表示背景强度水平。液滴分析系统的正确对焦能减少液滴图像中不必要的模糊,否则可能会导致对液滴形状、大小和体积的不准确分析。

4.1.4 图像形状处理

在液滴成像系统的总视场内,可设置一个或多个目标区域(由用户设置或自动设置),以包含用于分析的特定液滴图像。这有助于自动识别液滴,并加快分析和呈现结果的速度。液滴分析系统宜假设液

滴图像具有轴对称或球对称,以便从单个阴影图像中计算液滴体积。液滴分析系统使用的图像形状处理技术可能包括阈值处理、边缘检测、边界定位、圆形、椭圆形、等效圆直径、最大长度和宽度、面积、切片鼓形或圆锥形,甚至正在演化的形状。如 A.1 所示,要准确测定液滴体积,需要使用亚像素技术。

4.1.5 校准

光学场的线性校准宜使用合适大小、已知尺寸的间距网格、线条或物体,并在相似的光照条件和闪光持续时间下进行。用于此类校准的阈值宜与液滴测量的阈值相等。对于使用像素大小不超过 $10\ \mu\text{m}$ 的相机,并准确测量按需喷墨液滴体积的液滴分析系统而言,典型的校准因子为 $1\ \mu\text{m}/\text{pixel}$ 或更小。对于某些测量,可通过在同一视场角内(即大于 $100\ \mu\text{m}$)对多个喷墨喷嘴或喷出的射流进行成像,并将(标称)喷嘴间距与明显的像素间距进行比较,来方便地找到近似(约 1%)的校准因子。然而,对于工业喷墨打印头来说,这种方法通常并不可行,因为它们具有喷嘴防护面。

4.1.6 不确定性

基于成像的液滴体积测量依赖于线性校准因子的三次方,因此液滴体积的不确定性是校准因子不确定性的三倍。因此,对于已知线性校准因子不确定度为 $\pm 1\%$ 的情况,精确液滴体积测量的最小不确定度为 $\pm 3\%$ 。以一个典型例子说明,在 4.1.5 中提到的 $1\ \mu\text{m}/\text{pixel}$ 的校准因子并未明确标注误差,因此,我们假设其线性不确定度的最小值为 $\pm 0.01\ \mu\text{m}$,即相对不确定度至少为 $\pm 1\%$ 。由于液滴体积与校准因子的三次方成正比,因此液滴体积的绝对不确定度将至少是校准因子不确定度的三倍,也就是 $\pm 3\%$ 。可追溯标准的绝对不确定度通常宜比这低 10 倍以上。A.2 给出了液滴体积的不确定性,适用于液滴分析系统记录图像中相互比较。

4.2 喷墨液滴体积的测量过程

4.2.1 通则

除非用户和供应商之间另有协议外,喷墨液滴体积应采用以下两种方法之一进行测量。这两种方法的主要区别在于使用单次或多次事件模式图像来确定液滴直径,但在校准程序上也可能有所不同:单次事件模式适用于精度最高的绝对测量,而多次事件模式则提供了模糊的“液滴尺寸”测量值,通常用于相对比较。

4.2.2 喷墨液滴体积的测量过程(方法 1)

此过程描述了使用单次事件模式测量在飞行中喷墨液滴体积的方法:记录单个液滴图像以进行分析,图像中的单个液滴不与其他液滴重叠。

- 1) 按所需的参数(频率、墨水选择、波形等)开始喷墨打印。建议记录喷射条件,包括这些参数和其他相关细节,如 A.3 所述。
- 2) 确保所需的喷射和合并的液滴在成像光学的焦平面上“对焦”,调整单次事件闪光的延迟时间,以便液滴完全合并、形状稳定且位于目标的分析区域中。这个过程可自动或手动进行,也可与 GB/T 47122.1(方法 4)中所述的使用双闪光的瞬时液滴速度测量相结合。闪光的持续时间不宜超过几百纳秒,以避免液滴图像模糊。(双)闪光强度宜足够大,以便区分液滴边缘和背景,同时不会使图像过曝。
- 3) 通过对记录图像的适当分析,提取单次事件模式下的液滴直径 D (像素)。重复单次事件模式下的液滴直径的平均值和统计方差用于表示平均液滴直径,其标准误差不受任何速度和时间变化引起的模糊影响。这个过程可自动或手动进行,并建议按照 A.3 记录此平均值和统计方差以及参与统计的液滴数量。

- 4) 宜使用液滴分析系统所用的光学放大倍率来确定校准因子 F (微米/像素), 以确定液滴体积 (皮升)。最好使用放置在焦平面上的可追溯标准或使用阵列打印头中喷墨喷嘴的平均间距来进行此校准。建议按照 A.3 记录所有使用的校准细节。

4.2.3 喷墨液滴体积测量过程(方法 2)

此过程描述了使用多次事件模式测量在飞行中喷墨液滴体积的方法: 记录不同的液滴当成单个液滴图像进行分析。

- 1) 按所需的参数(频率、墨水选择、波形等)开始喷墨打印。建议记录喷射条件, 包括这些参数和其他相关细节, 见 A.3。
- 2) 确保所需的喷射和合并的液滴在成像光学的焦平面上“对焦”, 调整单次事件光闪的延迟时间, 以便液滴完全合并、形状稳定且位于目标的分析区域中。这个过程可自动或手动进行, 也可与 GB/T 47122.1(方法 1~方法 3)中所述的液滴速度测量相结合。闪光的持续时间不宜超过几百纳秒, 以避免液滴图像模糊。闪光强度宜足够大, 以便在液滴边缘和背景之间进行区分, 同时不会使叠加的图像过曝。
- 3) 通过对记录图像的适当分析, 提取单次事件模式下的液滴直径 D (像素)。重复单次事件模式下的液滴直径的平均值和统计方差用于表示平均液滴直径, 其标准误差不受任何速度和时间变化引起的模糊影响。这个过程可自动或手动进行, 并建议按照 A.3 记录此平均值和统计方差以及参与统计的液滴数量。
- 4) 宜使用液滴分析系统所用的光学放大倍率来确定校准因子 F (微米/像素), 以确定液滴体积 (皮升)。最好使用放置在焦平面上的可追溯标准或使用阵列打印头中喷墨喷嘴的平均间距来进行此校准。建议按照 A.3 记录所有使用的校准细节。

附录 A

(资料性)

测量飞行中液滴体积的主要因素

A.1 印刷电子中的喷射液滴体积

A.1.1 总则

在印刷电子应用中,精确测量喷射液滴体积是一个重要问题,因为沉积在基材上的材料量直接关系到器件性能。喷墨打印的液滴量在多个喷嘴的喷头中宜保持一致(均匀),以确保设备的均匀性。这就要求我们在印刷电子应用中,能够随时对所有喷嘴的液滴体积进行可靠的测量。然而,目前测量的喷墨液滴体积可能并不准确,也无法与任何国家标准相对应。本文件将讨论液滴分析系统中出现的液滴体积测量问题。

A.1.2 图像分辨率

市场对能够生成更小液滴并具备更高打印频率的技术有着强烈的需求。然而,除非用于捕获较小液滴图像的数码相机在像素分辨率上得到相应的提升,否则越来越难准确测量这些微小液滴的体积。以生成直径为 $20\ \mu\text{m}$ 液滴的喷墨打印头为例,若典型的图像分辨率设置为 $1\ \mu\text{m}/\text{pixel}$,则液滴的灰度图像宽度将仅有 20 pixel。图 A.1(针对直径为 28 pixel 的液滴)展示了由于图像分辨率导致的单像素误差,造成液滴直径的不确定性。

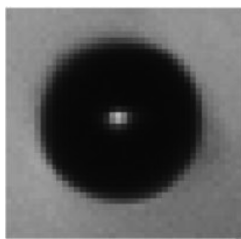


图 A.1 放大的液滴灰度图像

对于直径为 20 pixel 的液滴,因分辨率的限制造成了单像素的误差意味着直径误差最小为 $\pm 5\%$,体积误差最小为 $\pm 15\%$;在印刷电子应用中,这些误差对于喷墨液滴体积的测定是完全不可接受的。即便是用于比较目的,喷墨液滴图像宜具有比图 A.1 更多的像素/直径(即更高的分辨率和/或更高的光学放大率),以及更高的原始背景灰度级(即更高的强度或更长的闪光持续时间或更低的光学放大率),图 A.1 明显显示了单个方形像素。此外,准确的液滴分析系统也宜使用亚像素技术而非单像素技术来提取准确的液滴直径。

为了减少测量误差,可使用更高放大倍数的光学镜头。如果单个像素的尺寸与液滴相比显著较小,那么与像素相关的误差就能最小化。然而,高放大倍数(M)可能并不利于液滴体积的测量,因为图像强度与放大倍数($1/M^2$)成正比,而图像噪声也会随着放大倍数的增加而增加,从而改变确定边界条件。能使用更灵敏、更高分辨率的相机来减少像素误差。但是,这样做会带来成本问题,并且在使用这种相机时,图像的采集率(每秒帧数)可能会下降。因此,通常需要在这些因素之间进行权衡。

光线照射这些直径通常为 $20\ \mu\text{m}$ 的飞行中液滴时,成像液滴表观的直径会受到其他物理效应的影响,这主要源于光线在(半透明)液体周围发生的(以及通过其折射的)光学衍射效应。然而,在工业应用中,当使用相对尺寸校准时,这些效应通常被忽略不计。

A.1.3 灰度到二进制图像转换

采用灰度液滴尺寸(见图 1)的喷墨打印技术,能在基材上精确形成预定的材料沉积图案。然而,在喷墨液滴图像处理领域,即使液滴尺寸在名义上完全相同,灰度图像到二值图像的转换(比如从图 A.1 到图 A.2)对于准确测定液滴体积也是至关重要的。

一个 8 位灰度图像的每个像素值都根据图像的亮度从 0~255 变化。这个灰度图像能转换成二值图像,其中像素值只包含 0 或 1。二值图像可通过设置一个适当的阈值来获得,其中高于阈值的值被映射为 1(或 0),而低于阈值的值被映射为 0(或 1)。利用二值图像,能通过粒子分析或其他方法提取和分析墨滴。在这里,通过适当地设置一个离散化的阈值,墨滴的像素值能被设置为 0(或 1),而背景值则被设置为 1(或 0)。当使用二值图像来测量液滴体积时,灰度到二值图像的转换过程能显著影响测量到的液滴尺寸。如图 A.1 所示,在液滴图像与较亮背景的分界处,图像值有一个相对平滑的过渡。这种平滑过渡受到多种条件的影响,如照明亮度和镜头焦距。因此,在将图像转换为二值时,所选的阈值会直接影响确定的液滴尺寸(以及液滴体积)。图 A.2 展示了从相似的液滴转换而来的二值图像,其中比较了两个截然不同的阈值转换结果。



图 A.2 阈值对二进制图像的影响:左侧阈值为 25,右侧阈值为 75

测量的液滴体积可包含误差,因为测量结果会根据二值图像转换所需的阈值和闪光强度而有所不同。当使用 25 作为二值转换的阈值时,能识别出液滴的直径为 20 pixel。另一方面,如果阈值设为 75,则液滴的直径可能达到 24 pixel。因此,从图像中准确测量喷墨液滴的体积(或尺寸)是十分困难的。如图 A.2 所示,二值转换带来的误差远大于 CCD 相机的单个像素分辨率的误差,这导致了体积测量的不确定性超过 $\pm 15\%$ 。用于模拟不同像素数量、不同背景噪声及亮度水平下的液滴图像的多种技术的比较及应用,来确定“边缘”,从而得出与图像相应的液滴体积,以了解可能的体积百分比变化。在许多情况下,只要像素足够多,最简单的阈值方法在计算速度上是最有效的,能够提供相对准确的液滴体积测量值。

对焦和放大失真也能影响成像液滴的表观尺寸。控制照明、可用分辨率和图像处理的控制可将待定的不确定性降低到较低水平,体积不确定性通常小于 $\pm 1\%$,液滴图像对焦和其他光学效应可能成为体积不确定性的主要因素。对于喷墨滴分析系统来说,如果光学放大率在景深之内或之外发生变化,液滴对焦不良通常是最重要的问题,因为喷墨液滴直径不能总是精确地位于焦平面内。图 A.3 给出了由使用传统透镜放大图像高度引起的对离焦物体影响的示意图。

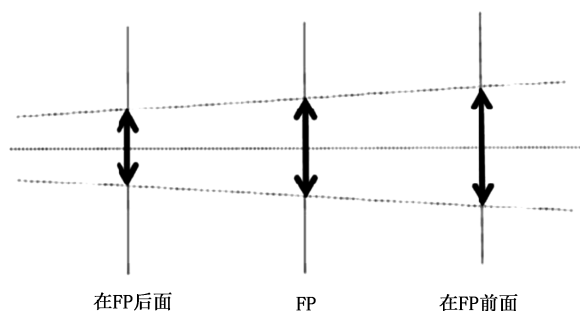


图 A.3 适用传统透镜在焦平面(FP)附近成像的物体视像高度

为了改善这种光学系统的景深,能采用较小的光圈(类似于“针孔相机”的原理,即让视野内的所有物体都呈现出清晰的焦点),但这样做会降低图像的亮度(即背景灰度值)。现代远心镜头是复合镜头,在景深范围内提供恒定的放大倍数,并在景深外实现边缘的对称模糊,非常适合喷墨液滴观测仪中的精确机器视觉应用。

对于相对测量,如果液滴出现在视场的同一位置,放大失真误差通常可忽略不计。对于绝对测量,光学系统视场的中心区域宜提供最小的放大失真。图 A.4 提供了传统光学放大失真的极端示例。

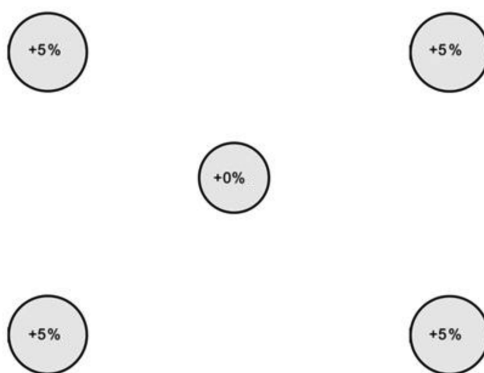


图 A.4 传统透镜在图像平面上的尺寸失真百分比示例

例如,如果偏离中心的图像存在+2%的放大失真,那么在该位置成像的液滴体积将比在中心区域(失真为0%)成像的液滴体积差异+6%。同样地,远心镜头通常比定焦镜头具有更低的失真。

A.1.4 绝对液滴体积

液滴图像的形状被用来确定液滴体积,这基于喷射轴周围的轴对称性假设。由于关键的光学条件,喷墨液滴体积的测量结果可依赖于所使用的液滴分析系统。由于测量液滴体积的绝对标准化过程复杂,且测量误差范围不可避免,因此在报告测量到的液滴体积时,宜同时说明误差范围,以确保不同液滴分析系统之间能够进行可靠的绝对比较。据报道,通过直接称重测量喷墨液滴体积的绝对精度约为 ± 0.1 pl。

通过称量已知数量(计数或计算得出)的喷墨液滴(或触发脉冲)对应的收集液体,并假设墨水在相关温度(喷射和称量时的温度)下的密度是已知的,能推导出平均喷射液滴体积。在收集过程中发生的任何蒸发都会对这种校准产生不利影响。要进行最准确的尺寸测量,需要液滴呈球形。全息测量技术的半径精度可小于 100 nm。

可通过测量垂直喷射打印头不同喷嘴间已知间距,并据此计算对应的对焦液滴之间的水平距离,能校准相对液滴直径(像素)。但这种方法即便不考虑空气动力学和光学效应,校准因子仍有超过 1%的

不确定性,导致液滴体积测量误差大于3%。

图 A.5 是工业喷墨打印头以 5 m/s 的速度喷射出的喷墨液滴、拖尾和卫星液滴的阴影图的一部分。在低放大失真的情况下,能通过液滴的平均水平间距和标称喷嘴间距对图像像素大小进行近似线性校准。在这个例子中,由于液滴尾部和卫星液滴的存在,无法准确确定喷射出的液滴体积,因为这些卫星液滴并未如本文所需那样与前面的液滴合并成一个单独的液滴;此外,即使是可见的最大液滴的像素宽度也不足以保证高精度。

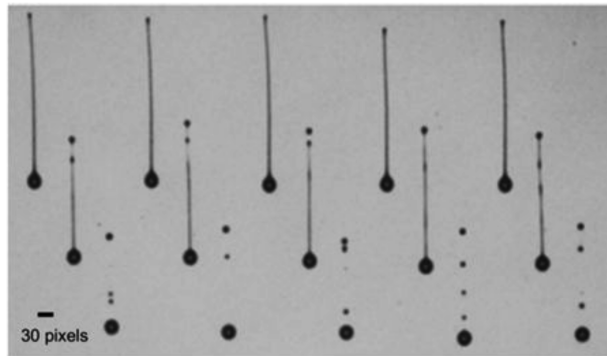


图 A.5 喷墨打印的液滴、拖尾和卫星液滴阴影图

A.2 喷墨液滴体积公式

假定液滴直径 D (以像素为单位) 和用于将像素转换为微米 (10^{-6} m) 的校准转换因子 k , 液滴体积可通过公式 $V = \pi(kD)^3 / 6\,000 \text{ pl} (10^{-9} \text{ l} = 10^{-12} \text{ m}^3)$ 计算得出。对于使用基于图像的液滴分析系统来确定液滴体积, 需要对液滴图像直径进行亚像素分析, 以达到优于 $\pm 3\%$ 的体积精度。

单像素分析技术在液滴形心位置的确定上引入了额外的不确定性。为了将总体积误差降低到 $\pm 5\%$ 以下, 液滴直径 D 宜超过约 30 pixel 以上。

下面给出的适用于单像素高度切片的图像公式, 能修改以适用于其他高度。在体积测定中的隐含假设是边界宜是轴对称的。

给定了分析后的边界后, 液滴体积 (V) 可通过对所有连续锥形切片的每个切片高度为一像素且包含液滴边界的像素体积进行求和来计算。假设有 N 个这样的切片, 第 j 个切片位于相邻的两个直径 D_j 和 D_{j+1} 之间:

$$V = \frac{\pi k^3}{12} \sum_{j=1}^N (D_j^2 + D_j D_{j+1} + D_{j+1}^2) \dots\dots\dots (A.1)$$

这种锥形切片求和的方法通常比更常用的圆柱形切片方法有所改进, 方法如下:

$$V = \frac{\pi k^3}{4} \sum_{j=1}^N (D_j^2) \dots\dots\dots (A.2)$$

A.3 结果

结果宜包括但不限于以下内容:

- 液滴测量系统的制造商、型号和序列号;
- 所使用的光学校准参考标准, 包括其可追溯性(如有);
- 用于计算所引用液滴体积的图像类型(单次事件或多次事件);
- 在评估所引用平均液滴体积时所使用的液滴数量;
- 在指定打印频率下的平均液滴体积及其不确定性;

- 在指定打印频率下的标称液滴速度；
- 所使用的墨水类型以及喷墨打印头的相关操作条件；
- 所使用喷墨打印头的制造商、型号和序列号；
- 喷嘴行上的喷嘴间距、喷嘴列数量以及列间距；
- 液滴体积测量中喷嘴列和阵列位置标识符。

参 考 文 献

- [1] GB/T 47122.1 印刷电子 喷墨印刷设备 第1部分:基于成像的液滴喷射速度测量
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
印 刷 电 子 喷 墨 印 刷 设 备

第 2 部分：基于成像的液滴体积测量

GB/T 47122.2—2026/IEC 62899-302-2:2018

*

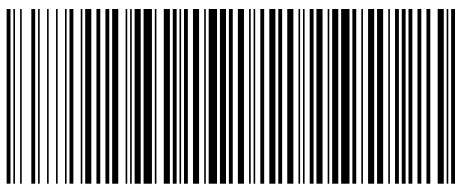
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号（100029）
网址：www.spc.net.cn

服务热线：400-168-0010

2026 年 1 月第 1 版

*

书号：155066·1-81924



GB/T 47122.2-2026

版权专有 侵权必究