

激光全息照相法测量液滴平面扩展系数

唐继荣 蒋锦华 叶仁清

(北京药物化学研究所)

所谓液滴平面扩展系数，是指球形液滴降落或撞击在载玻片上发生变形后的表现直径 D 与液滴在空间呈球形时的直径 d 之比值 K 。如图 1 所示。数学表达式如下 (1) 式。

$$K = \frac{D}{d} \quad (1)$$

液滴平面扩展系数的测量方法很多，诸

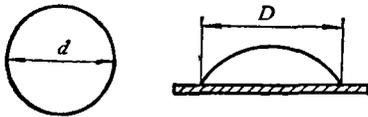


图 1 液体平面扩展系数示意图

如重量法、测高法、接触角法、焦距法、照相机法、液体悬浮对比法以及化学分析法等。但这些方法都不能用 (1) 式直接测量 K 值；液体悬浮对比法虽然可以用 (1) 式测量 K 值，但液体中的悬球粒子是单独制备的，制作和测量都很困难。

本文提出一种用激光全息照相术测量液滴平面扩展系数的方法。它能直接拍摄和记录液滴的空间悬浮状态下的球形直径 d_i ，并同时用载玻片采集样品测量表现直径 D_i ，直接由 (1) 式得到 K 值。这一方法的优点是直接精确，并能扩大测量范围。本研究使用的 QX-1 型激光全息滴谱记录仪，可以拍摄和记录 5—1000 微米范围内的液滴直径。

一、实验方法和设备

本实验采用固体红宝石激光器同轴全息光路，拍摄和记录由振针式液滴源单谱发生器产生的液滴流，同时用医用载玻片采集平

面样品，然后分别测量经过显影定影处理后的空间液滴全息图直径 d_i 和平面样品表现直径 D_i 。

(一) 振针式液滴源单谱发生器：

这是一个可发生 30—500 微米粒径范围的液体射流源单谱发生器，在本实验中提供测量扩展系数用的均匀液滴样品。它由压力源、贮液器、针头、声频振荡器、电子信号发生器和电源等部件组成，其原理示意图见图 2。

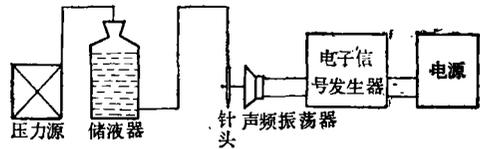


图 2 液体射流源单谱发生器示意图

这是自行装制的一台实验用液体均匀流单谱发生器。

(二) 激光全息滴谱记录仪及液滴再现观测：

本实验采用我所与上海激光技术研究所协作研制成功的 QX-1 型激光全息滴谱记录仪，作液滴空间尺寸拍摄和记录用。它可以实时拍摄记录由振针式液体射流源产生的液滴样品。拍摄记录示意图如图 3。

由 QX-1 机拍摄、经显影定影后的全息

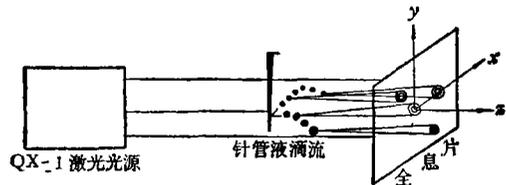


图 3 样品拍摄和记录示意图

片,置于图 4 的再现观测光路,测量液滴的空间悬浮状态原始直径 d_i 。图 4 的再现光路,是一个包括氦-氛激光器、空间滤波器、扩束光管、全息片(板)三维移动式调焦台、放大物镜、显微观测屏或自动数据处理器等部件组成的一个光学测量系统。

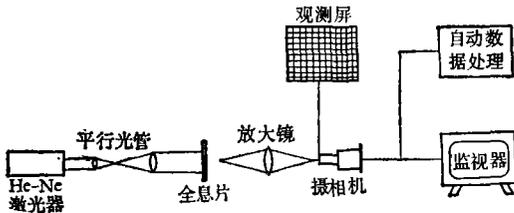


图 4 再现观测光路示意图

(三) 平面样品采集和测量:

在激光全息谱记录仪拍摄空间样品的同时,用医用载玻片(76 × 26 × 0.8 毫米)采下液滴样品。用显微镜、投影仪或图象分析仪测量液滴平面扩展直径 D_i 。本测量采用 23J 光学投影仪测量表观直径 D_i 。

二、实验测量结果

本实验对常用的非粘性液体的模拟剂苯二甲酸二丁酯等,进行了有垫面(二氯二甲硅烷)和无垫面载玻片上的扩展系数测量。测量结果整理于表 1 中。表中平面液滴直径 D_i 是取 10 个单分散液滴测量的平均值(液滴发生器产生的液滴流非常均匀,取 10 个测量已足够精确),而 d_i 则因拍摄画幅的限制,各种情况下记录的液滴个数不尽一样,因此

表 1 三种液体的平面扩展系数测量

| 液体 | 垫面 | 液滴序 测量参数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | \bar{K} | |
|---------|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|------|------|------|------|-----------|------|
| | | | 苯二甲酸二丁酯 | D_i (μm) | 840 | 589 | 436 | 347 | | 213 |
| | d_i (μm) | 352 | 257 | 181 | 151 | 93.2 | | | | |
| | K_i | 2.39 | 2.29 | 2.41 | 2.29 | 2.28 | | | | |
| 苯二甲酸二丁酯 | 二氯二甲硅烷 | D_i (μm) | 529 | 364 | 317 | 292 | 191 | | | 2.04 |
| | | d_i (μm) | 257 | 181 | 151 | 147 | 93.2 | | | |
| | | K_i | 2.06 | 2.01 | 2.09 | 1.99 | 2.04 | | | |
| 苯二甲酸二丁酯 | 光滑玻璃 | D_i (μm) | 734 | 652 | 627 | 386 | 259 | | | 2.52 |
| | | d_i (μm) | 295 | 239 | 239 | 156 | 112 | | | |
| | | K_i | 2.49 | 2.73 | 2.62 | 2.46 | 2.31 | | | |
| 苯二甲酸二丁酯 | 二氯二甲硅烷 | D_i (μm) | 510 | 503 | 441 | 414 | 282 | 270 | | 1.79 |
| | | d_i (μm) | 293 | 285 | 239 | 230 | 153 | 156 | | |
| | | K_i | 1.73 | 1.76 | 1.85 | 1.81 | 1.84 | 1.73 | 1.79 | |
| 三甘油酸酯 | 二氯二甲硅烷 | D_i (μm) | 631 | 438 | 313 | 280 | 186 | | | 2.07 |
| | | d_i (μm) | 303 | 223 | 149 | 129 | 94 | | | |
| | | K_i | 2.05 | 1.96 | 2.10 | 2.17 | 2.00 | | | |

测量个数也难以固定。

应用激光全息照相法测量液滴平面扩展系数,获得了令人满意的测量结果。单次测量和重复测量误差都保持在 2% 以内(见表 1、3、4)。

激光全息照相法测量液滴平面扩展系数的精度,在很大程度上取决于全息图的成象质量,包括样品拍摄记录、全息片显影定影、

表 2 苯二甲酸二丁酯一次测 K 值

| 液滴序 测量值 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 误差 (%) | \bar{K} |
|-------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-----------|
| | D_i (μm) | 537 | 533 | 533 | 519 | 523 | 523 | 522 | 518 | 548 | | |
| d_i (μm) | 263 | 256 | 256 | 255 | 259 | 255 | 255 | 255 | | | 0.9 | |
| D_i (μm) | 368 | 361 | 365 | 367 | 357 | 362 | 360 | 373 | 358 | 368 | 1 | 2.01 |
| d_i (μm) | 184 | 180 | 181 | 180 | 182 | 179 | 186 | 179 | 182 | 175 | 1 | |
| D_i (μm) | 198 | 190 | 190 | 192 | 187 | 190 | 191 | 190 | 191 | 187 | 1 | 2.04 |
| d_i (μm) | 94.4 | 91.5 | 94.4 | 91.2 | 93.5 | 94.4 | 92.5 | 93.3 | 94.4 | 92.5 | 1 | |

表 3 全息图液滴直径 d_i 重复测量误差

| 测量次序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值 | 误差 (%) |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| d_i (μm) | 58.0 | 60.0 | 57.0 | 57.0 | 57.4 | 59.0 | 58.4 | 57.0 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 1.0 |

表 4 载玻片上液滴表现直径 D_i 重复测量误差

| 测量次序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值 | 误差 (%) |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| D_i (μm) | 183 | 184 | 183 | 184 | 183 | 184 | 184 | 183 | 182 | 183 | 183 | 0.3 |

全息图再现技术的全过程。因此，这一测量方法对操作人员的技术条件，要求较高。

三、结 束 语

本文叙述的激光全息照相术测量液滴平面扩展系数的方法，是初次提出。由于全息光学的复杂性，象质分辨率尚有待于进一步提高。特别是小液滴和气溶胶粒子，由于本

实验使用的单谱发生器尚不能产生 30 微米以下的小液滴和气溶胶，虽然 QX-1 机可以拍摄和记录到 5 微米的粒子，但目前仍不能用这一方法测量较小粒子的平面扩展系数 K 。随着激光全息光学技术的提高和实验设备的进一步改进，用激光全息照相法测量液滴平面扩展系数所提供的范围也将愈加扩大。它将成为这一研究的有力工具。

均匀气溶胶液滴流发生器

唐继荣 蒋锦华 聂书玉

(北京药物化学研究所)

在环境科学领域中，许多场合都需要已知尺寸的大小均匀的气溶胶粒子，即单分散气溶胶粒子。但以往制备单分散气溶胶粒子所使用的方法相当简陋、粗糙。静态均匀粒子通常是用毛细管人工滴定制备的；动态分布均匀气溶胶通常是采用多级(撞击、阻留、静电分离等)滤过方法，最后获得较均匀的悬浮气溶胶状态。本文提出一种振针式均匀液滴流单谱发生器。它能够产生 30—500 微米直径范围内可调制的均匀大小的液滴流。它可以用于载玻片随机采集均匀分布的单分散粒子，作液滴的各种平面特性研究，如液滴平面扩展系数、接触角等。它可以直接作为动态均匀分布液滴流，作粒子碰撞、凝并、反射、附着等动力学研究。它也可以为各种新式气溶胶(雾)发生器或测量仪的考核和校正时提供

已知大小的液滴样品。它在激光全息照相法研究液体射流破碎分散历程中，作为液体射流源，获得了成功应用。本文简要介绍这种振针式均匀液滴流单谱发生器的原理、结构和操作特性。

一、仪器原理、结构和性能

振针式液体射流源单谱发生器，是根据液体射流源的均匀破碎原理^[1]设计的。早在 1833 年，Savart 首先在试验中发现了液体射流的均匀破碎现象。1873 年 Plateau 从表面能推导出：在无限长的圆柱形液体射流中形成不稳定扰动的最小波长(即扰动间隔) λ_{\min} 等于射流截面直径 D_j 的外缘周长。即

$$\lambda_{\min} = \pi D_j$$

1878 年 Rayleigh 根据非粘性不可压缩