

用激光全息摄影研究乳化油 雾化及微爆过程¹⁾

盛宏至 黎军 吴东垠 田文栋 魏小林 吴承康

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 采用红宝石激光高速像面全息摄影系统, 研究了高温高压下乳化油高速射流液雾的受热蒸发等相变过程。观察到多组元液体在高速加热的过程中低沸点组分在短暂的亚稳态—过热态之后急剧地发生气化, 将液滴爆破, 即“微爆”。影响微爆的条件不仅有温度、压力等外部条件, 也与液滴直径及运动状态, 与液体连续相的表面张力有关, 而且与组元间相互作用关系很大。当特征尺度小到微米量级时, 后者影响就不可忽略。

关键词 激光, 全息摄影, 液滴, 微爆

引言

高温高压下多组元高速射流液雾的受热蒸发等相变过程的基础知识目前比较缺乏。对喷雾的应用研究虽然较多, 主要为高速摄影、高速显微摄影、夫琅和费衍射法等, 在宏观领域对喷雾雾柱外形、液滴粒径分布进行整体研究, 以冷态研究为主, 不记录个别液滴的行为, 很少研究液雾的相变过程, 主要困难为缺乏有效而简单的实验手段。而且, 主要的研究成果基本上围绕单组分液体进行。因此, 记录液雾内液滴的高速运动, 进行分析十分有挑战性。

1 液滴内部相变及微爆过程

研究液滴相变过程, 如蒸发、燃烧、二次破碎等, 一般采用单/多液滴进行, 滴径一般为300~1000 μm 。采用悬丝, 上升气流悬浮等方法使液滴运动速度比较低, 可以采用显微高速摄影记录。但是, 液雾中液滴飞行的速度一般为50~300m/s, 而液滴的直径仅5~30 μm , 与单/多液滴的差别很大。高压下液雾的投影面积一般大于几百平方毫米, 过程5~10ms, 在过程中, 液雾每秒钟的飞行距离达到液滴直径的几千倍到几万倍, 而且为高温高压容器中的瞬态过程, 十分难以观察液雾中液滴的相变过程。

含有多组元液体的混合液, 包括互溶性液体或乳化型混合液, 如果组元间沸点相差很大, 则在高速加热的过程中可能出现沸点低的组分发生短暂的亚稳态—过热态, 然后急剧地发生气化, 将液滴爆破, 即“微爆”。这个现象在静止的单滴、多滴混合液滴快速加热时都比较容易观察到, 可以采用显微高速摄影记录。影响微爆的条件不仅有温度、压力等外部条件有关, 与液滴直径及运动状态有关, 与液体连续相的表面张力有关, 而且与组元间相互作用关系很大, 如乳化液离散相与连续相间的作用力, 特别当特征尺度小到微米量级时, 后者影响就不可忽略。

2 红宝石激光像面全息高速摄影术

为记录液雾的微观过程, 特别是微爆过程, 必须能够捕捉微爆时的微观图像, 要求记录

1) 国家自然科学基金资助(19682010)

装置有极高的分辨率，能够兼顾视场及分辨率，还要能记录瞬态过程。采用感光胶片的光学记录方法，或 CCD 相机的全视场分辨率仅几百对线至几千对线，不能满足要求。全息干版全视场分辨率达几十万对线至几百万对线，只有全息高速摄影能满足要求。

几种激光全息记录方法，Gabor 的同轴法干扰大，离轴直接记录分辨率低，只有离轴像面全息能达到十分高的分辨率。同时由于光圈较大，像全息可以提供液雾内部像平面上（如雾柱轴线）的液滴信息，而不是仅雾柱外表的信息。红宝石激光器可以提供足够的光强、良好的光学质量及多脉冲分幅，能记录过程，可以满足研究要求^[1]。但是上述实验难度相当大，重要的过程仅几百微秒，只有严格的同步才能捕捉到现象。

我们采用激光全息高速摄影仪，进行了包括离轴全息及离轴像面全息的方法进行单组元液雾、多组元液雾在高温高压下的实验。实验中改变了组元比例、成分、实验温度与压力。

3 结 论

研究结果表明：

1) 采用激光全息法对液雾内液滴的微观观察是有效的。

2) 液雾喷射与卷吸空气时，液雾内的液滴分布是不均匀的，液雾卷吸空气是以“Eddy”的方式进行，空气“Eddy”进入液雾区后继续与液雾混合，观察到的这个现象与在雾柱外进行的宏观观测不同，不仅对理解空气与液雾的混合过程有重要的意义，而且对数值模拟有直接的意义。

3) 同一“Eddy”内的液滴经历相近的加热时间历程，在加热过程中满足微爆条件后，Eddy 内某一液滴的微爆会引起 Eddy 内其他液滴的连锁/雪崩反应。因此多组元液雾的雾化及微爆不是以单滴方式发生，而是以“团状（或称群状）”发生，形成较大能量的群微爆（右图）。具有较大能量的微爆，能扩大喷雾锥角及雾区，改善宏、微观混合。



4) 观察到的液滴内离散相集中在液滴内部，在液滴边界层内没有离散相。这个现象是微爆呈团状发生的重要条件，能从本质上解释微爆为何不呈单颗粒状的形式，而成为团状的原因，其成因不仅是 Hill 涡的作用，表面张力亦起重要作用。

此外，还发展了含甲醇 15%左右稳定的甲醇-柴油多组元液体的制备技术，建造了高温（600℃）高压（4.0MPa）定容燃烧弹，完善了在高温下实现单次喷射形成液雾等技术，这些技术也有相当高难度。

参 考 文 献

- 1 Sheng H Z, An C, Chen L, Zhang Z P, Cheng C Q, Wu C K. The droplet group microexplosion in water-in-oil emulsion sprays and its effects on diesel engine combustion. Symposium International on Combustion (25th), p175, ISSN0082-0784, 1994. 7