

测量粒子场的红外激光同轴全息技术

钟 杰,李作友,刘振清,朱鹏飞,叶 雁,罗振雄,李 军,翁继东,李泽仁
(中国工程物理研究院流体物理研究所,四川 绵阳 621900)

摘 要:采用同轴全息技术诊断粒子场时,粒子尺寸过小会影响再现粒子统计的精度,而粒子场分布密度过大会影响全息图像的记录质量。针对可见光同轴全息中出现的微小粒子分辨和光透过率弱等问题,提出采用红外激光进行粒子场诊断的方法。数值模拟了红外激光与绿光激光记录小粒子的情况,分析结果显示:红外激光将小粒子的再现像放大,信息光增强,有利于小粒子的记录;实验验证了红外激光透过高密度物场的能力明显高于绿光激光。从而表明采用红外激光同轴全息技术进行小尺寸、高密度粒子场的实验诊断具有一定的优势。

关键词:同轴全息;红外激光;激光波长;粒子场;密度

中图分类号: O438.1 **文献标识码:** A

Particle field measurement using infrared laser in-line holography

ZHONG Jie, LI Zuo-you, LIU Zhen-qing, ZHU Peng-fei, YE Yan, LUO Zhen-xiong,
LI Jun, WENG Ji-dong, LI Ze-ren
(Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The difference of in-line particle hologram are shown mainly for different laser wavelength. The hologram of the particle field is influenced by the microparticle diameter and particle density. These two parameters may even determine the quality of the measurement. Therefore, these two parameters are mainly discussed for different laser wavelength through numerical simulation. The interference fringes of microparticle are enlarged by infrared laser and easy to resolve. Simultaneously, the transmissivity of infrared laser through the high density object field is larger than green laser and verified by experiment. All results confirm the dominance of infrared laser in-line particle holography.

Key words: in-line holography; infrared laser; laser wavelength; particle field; density

1 引 言

在燃料燃烧、煤烟测量、两相流、液滴破碎、环境污染等领域的研究中,常采用激光全息技术^[1-4]进行粒子场的测量,其优点是不干扰物场,能记录到粒子场的三维全场分布,从而得到粒子的尺寸、形状和速度等信息。但是在这些工程研究领域,液滴及固体颗粒的密度大、尺寸小,给实验测量技术带来一定的难度(如高密度影响光的透过率、小尺寸粒子难以分辨)。在以往粒子场的研究中,因受限于全息图的记录介质,通常采用波长为 532 nm, 694 nm 的

激光进行同轴全息测量。随着电荷耦合器件(CCD)、红外探测器以及红外光敏聚合物的发展,可考虑采用不同波长的激光进行全息的实验测量,以提高物场测量的精度,进一步发展全息技术,并拓展其应用领域。

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 10804102);国家科技基础研究基金项目资助。

作者简介:钟 杰(1977-),女,工程师,主要从事激光全息方面的研究工作。E-mail: jiezong123@126.com

收稿日期: 2009-06-17

2 两种波长激光记录小粒子的比较

采用同轴全息技术诊断喷雾场或射流场时,在喷雾场的边缘位置或射流的前端位置通常存在着多数小粒子,而这些三维分布的小尺寸粒子直接影响着再现粒子统计的精度。如图1所示为粒子场的全息再现图像,颗粒的粒径小,再现图像的对比度减弱,有效粒子的信息提取率也随之降低。这说明小粒子的信息光较弱,易受背景光的影响,若对小粒子的条纹及再现像进行一定程度的放大,提高图像的对比度,将有助于提取颗粒的粒径信息。图1的实验条件为激光波长532 nm,标准粒子的直径分别为4 μm, 5 μm, 6 μm, 8 μm,全息干板胶面紧贴粒子场。

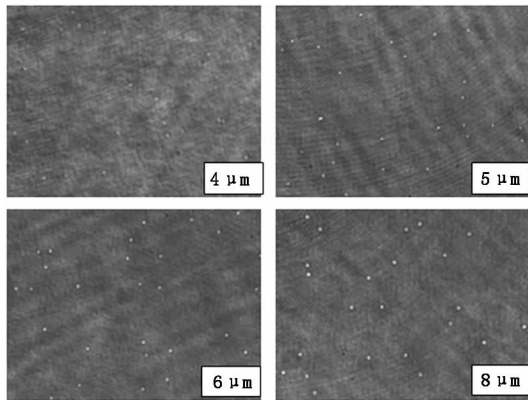


图1 不同尺寸粒子的全息再现图像

根据文献[5]来分析激光波长对粒子条纹的影响,同轴全息的粒子干涉图样是一族同心圆,当参考光为平行光的情况下,相应干涉条纹的半径为:

$$r_p = \sqrt{2n\lambda z} \quad (1)$$

其中, $n=0, 1, 2, \dots$, 是正整数,代表在全息记录面上从圆心到边界的干涉条纹数。由此可知,同种情况下,采用红外激光记录到的干涉条纹半径是绿光的1.4倍,因而有利于小粒子的记录。

为了比较激光波长对小粒子的影响^[6],采用两种波长的激光分别模拟了记录粒子的强度分布图、数字全息图和再现图,如图2~图4所示。模拟粒子的直径为4 μm,其他模拟条件相同。由图像可知,对于波长为1064 nm的激光,粒子条纹数减少,但获得的粒子全息图中心条纹所占据的面积增加,粒子再现图像有一定程度的放大,灰度值发生变化,图像对比度增强;根据灰度值分布和颗粒面积双判据的方法^[7],有利于小粒子的记录和再现。因此,采用红外激光诊断小粒子具有一定的优势。

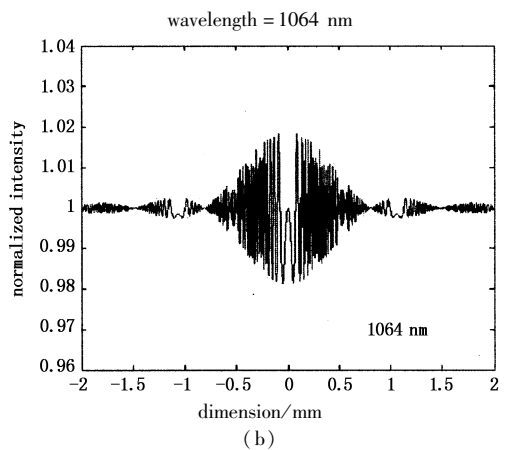
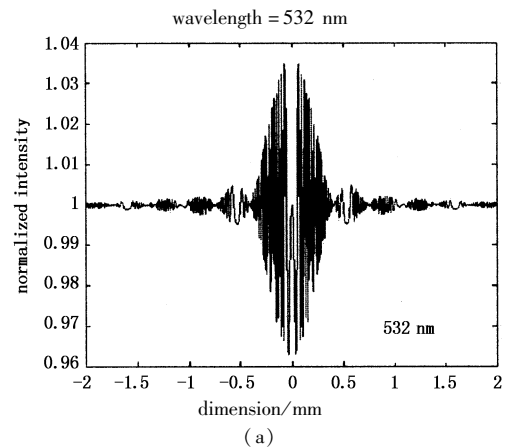


图2 两种激光波长下的粒子记录强度分布图

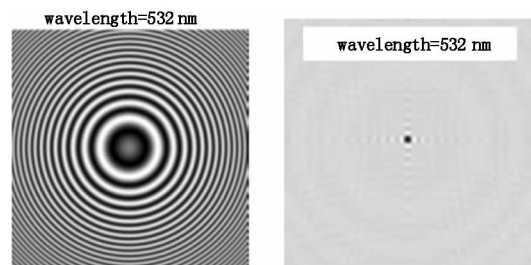


图3 波长532 nm激光的粒子全息记录图和再现图

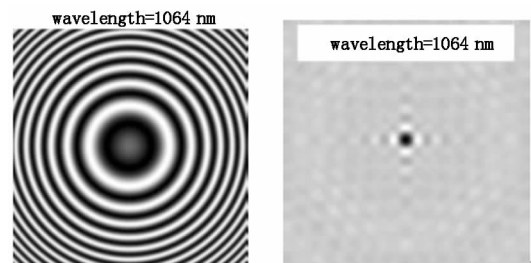


图4 1064 nm激光的粒子全息记录图和再现图

3 两种波长激光对物场透过率的比较

粒子场中粒子的分布通常较为复杂,其密度的大小对全息图的记录以及粒子再现统计的影响非常大,为了检测红外激光对高密度物场的光透过率,在本文中选用GEM膜,理由是光透过率较低。具体情

况为:GEM膜是使用聚酰亚胺(Kapton)材料制成的一种薄膜,厚度一般为60 μm,膜的两面都镀有5 μm厚的铜膜,用化学蚀刻方法制成孔径为几十微米的小孔。本文所用的GEM膜为圆柱形孔,孔径为30~35 μm,孔间距为110~120 μm,示意图如图5所示。根据文献[8]的计算方法,得出所用GEM膜的光学透过率约为0.3。

实验中,采用GEM膜作为物场,进行了红外激光与绿光激光透过能量的测量,实验数据如表1所示。由表可知,对于GEM膜,波长为1064 nm,532 nm

激光的光透过率分别为7.5%,4.6%,前者明显高于后者(聚酰亚胺材料虽对1064 nm激光的光透过率较高,但本文所用的膜厚度大,因此对实验数据的影响不大)。

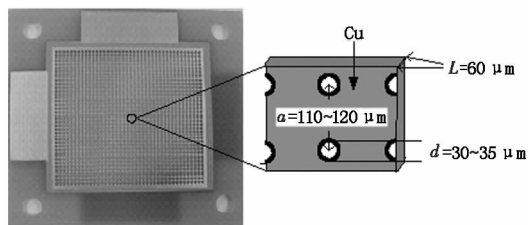


图5 GEM膜的结构示意图

表1 不同波长的激光对GEM膜的能量衰减情况

激光波长 次数	1064 nm 时的激光能量值(μJ/cm ²)		532 nm 时的激光能量值(μJ/cm ²)	
	无膜	有膜	无膜	有膜
1	2106	150.6	762.4	35.33
2	2080	159.3	831.4	35.11
3	2107	157.1	884.7	36.54
4	2035	152.5	755.8	34.28
5	2057	156.8	772.6	35.27
6	2180	159	772.6	36.35
7	2015	163	682.3	33.35
8	2126	152.6	737.8	36.11
9	2078	157.4	712.7	35.24
10	2074	154	729.8	37.62
均值	2085.8	156.23	764.21	35.52
光透过率/%	7.5		4.6	

为了进一步说明红外激光在诊断高密度物场方面的优势,借鉴了数字全息的实验技术,采用普通的电荷耦合器件(CCD)在相同实验条件下进行了两种激光波长下GEM膜的成像,实验图像如图6所示。由图像可知,采用红外激光能比较清楚地分辨出GEM膜上的小孔,相比之下,绿光激光的成像情况稍差些。

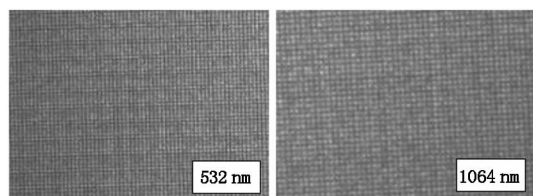


图6 不同激光波长下的GEM膜成像

若将红外激光用于密度较大的粒子场,因其光透过率比较高,将能避免粒子场的曝光不足,更有利于粒子场信息的记录^[9-10],因此采用红外激光具有

记录能力较强的优势。另外,对于高密度分布的粒子场来说,由于红外激光的能量高、光透过能力强,在粒子边缘与图像背景之间将具有较高的对比度,因此可采用以下两种图像处理方法来获取粒子信息:一是根据全息图的黑密度(或灰度)值、颗粒面积获取粒子有无的信息;二是根据再现像中黑密度(或灰度)的梯度得到粒子的边缘,进而得出粒子的尺寸信息。

4 结 论

激光全息技术在颗粒场的颗粒粒径、位置和三维分布等参数诊断方面具有很大的优势和应用潜力,随着全息记录介质的多元化发展,出现了光折变材料、光致变色材料和电荷耦合器件等,大大拓展了激光全息技术的应用领域。基于此,研究了不同波长的激光对粒子场记录的影响:首先采用数值模拟的方法进行了小粒子记录强度分布图

的模拟,比较了小粒子的数字全息记录图和再现像,结果显示红外激光有利于小粒子的记录;然后实验测量了红外激光对高密度物场的光透过率,并且比较了高密度物场的数字全息图像;最后得出:若红外激光用于小粒径、高密度粒子场的诊断将具有一定的优势。

参考文献:

- [1] Sorenson D S, Minich R W, Romero J L, et al. Ejecta particle size distribution for shock loaded Sn and Al metals [J]. *J Appl Phys*, 2002, 92(10): 5830 - 5836.
 - [2] 徐航, 朱崇基, 沈云彪. 激光全息技术应用于柴油喷雾场的研究[J]. *内燃机学报*, 1994, 12(1): 16 - 22.
 - [3] 王国志, 丰善, 王正荣, 等. 用脉冲激光全息术测量喷雾场中粒子的分布和运动速度[J]. *光学技术*, 1995, 5: 24 - 27.
 - [4] 叶雁, 郑贤旭, 李作友, 等. 用脉冲激光同轴全息技术测量微射流[J]. *强激光与粒子束*, 2004, 16(2): 159 - 162.
 - [5] 于美文. 光全息学及其应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996: 76 - 77.
 - [6] 李志斌, 郑刚, 章立新, 等. 同轴数字全息用于粒径测量的影响因素分析[J]. *光电工程*, 2008, 35(8): 24 - 29.
 - [7] 吴学成, 浦兴国, 浦世亮, 等. 激光数字全息应用于两相流颗粒粒径测量[J]. *化工学报*, 2009, 60(2): 310 - 316.
 - [8] 周意, 李澄, 安少辉, 等. GEM 电极的三维电场分布计算[J]. *高能物理与核物理*, 2004, 28(3): 299 - 303.
 - [9] 叶雁, 李泽仁, 李作友, 等. 非线性记录对粒子场同轴全息再现像的影响[J]. *激光杂志*, 2005, 26(3): 53 - 54.
 - [10] 李作友, 刘振清, 叶雁, 等. 微粒场全息术中记录介质的选择和处理研究[J]. *激光技术*, 2005, 29(6): 617 - 620.
-