

对散斑杨氏干涉条纹质量改进的研究

肖明海 罗林

(军械工程学院, 石家庄)

摘要: 本文对同轴散斑干涉条纹渐晕斑的不良影响进行了分析。并提出了消除渐晕斑的方法, 进行了比较实验。理论与实验结果相符。

A research for improvement in the fringe quality of speckle
Young's inference

Xiao Minghai, Luo Lin

(Institute of Ordnance Engineering)

Abstract: The pernicious effects of vignetting spot on the coaxial speckle inference fringes are analysed and a method for eliminating the vignetting spot is given. Comparative experiments have been carried out and results consist with theoretical analysis.

一、对同轴散斑条纹的分析

当对一张记录了物体位移信息的同轴散斑图用细激光束照射时, 将观察到杨氏双孔干涉

Li Haibo, Fan Xiaohung and the research group for their helpful cooperation during the experiment.

References

[1] The research of light source and local oscillator used in 1.52 μm coherent optical fiber communication, Deadline paper of CCOC'86, Guilin, China.

[2] The secondary heterodyne phase lock-in tracking of coherent optical fiber communication, FOIO and OCT '88, China, P.128.

作者简介: 何震川, 男, 1962年3月出生。工程师。现从事相干光纤通信研究工作。
蒋丽娟, 请参阅本刊1990年Vol.14, No.1, P.44。
马迅, 请参阅本刊1990年Vol.14, No.1, P.38。

收稿日期: 1989年7月13日。

条纹^[1]，如图1所示。通过测量干涉条纹的间距等参数，可计算出物体的面内位移^[2]。且有

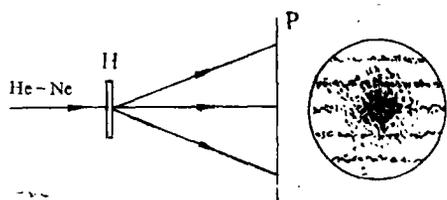


图 1

较高的灵敏度。但由图看出，同轴散斑光路记录的散斑图，杨氏干涉条纹中央有一个由直射光造成的渐晕斑，由于此光斑的影响，将使光强按余弦分布的杨氏干涉条纹的峰值发生一微小的漂移，见图2。因中央渐晕斑的光强是按高斯形分布(图中点划线所示)，杨氏双孔干涉条纹的光强按余弦分布(图中虚线所示)。两者叠加以后的干涉条纹的光强分布如图中实线所示。可以看出其峰值较

原杨氏双孔干涉条纹的峰值向中央亮纹方向漂移了一个微量 Δx 。由干涉图和以上分析不难看出，同轴散斑条纹存在三个问题：(1)由中央渐晕斑的影响，使条纹对比度下降，影响测量精度；(2)条纹的峰值发生漂移，给测量带来一系统误差；(3)由于渐晕斑的存在，不利于对条纹间距进行自动化检测。由此看出，产生以上问题的原因主要是渐晕斑造成的。为解决这一问题，我们提出了离轴散斑照相光路，并进行了理论分析和比较实验。

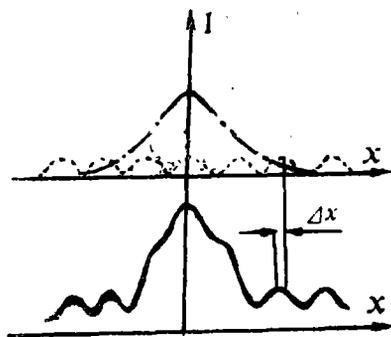


图 2

二、离轴散斑照相光路及对散斑图的分析

如图3 a所示，同轴散斑图的照相光路仅有一支光路，由此记录的散斑图得到的杨氏干涉条纹中央有一个渐晕斑。离轴散斑照相光路是在此基础上引进一参考光，见图3 b。将一束激光分成两束，其中一束通过被测物体后射到全息干板上，作为物光；另一束直接射到全息干板上，作为参考光。这实际上为一离轴全息光路^[3]。两者的测量方法完全一样，都是在被测物体移动前后各曝光一次，用全息干板记录两组散斑而实现的。但此时两散斑图记录的信息不完全一样。同轴散斑图仅记录了两组具有一定位移的斑点，而离轴散斑图除记录了该两组斑点外还记录了物光与参考光的干涉结果，即以空间频率较高的干涉条纹的形式记录了物体的波前信息。因此将离轴散斑图用细激光束照射时，将出现分离的三组干涉条纹，如图4所示。其中中间一组是由散斑对而产生的杨氏双孔干涉条纹，与同轴散斑干涉条纹完全一样，两边对称分布的两组干涉条纹是沿着参考光的方向所成的正、负一级衍射象，在此象面上，由于散斑对的作用，复盖了杨氏双孔干涉条纹。可以看出，这两组离轴干涉条纹消除了中央渐

晕斑的影响，使条纹对比度提高，测量精度提高。同时，由于衍射象的存在，使干涉条纹的间距增大，便于自动化检测。因此，离轴散斑照相光路是一种理想的测量方法。

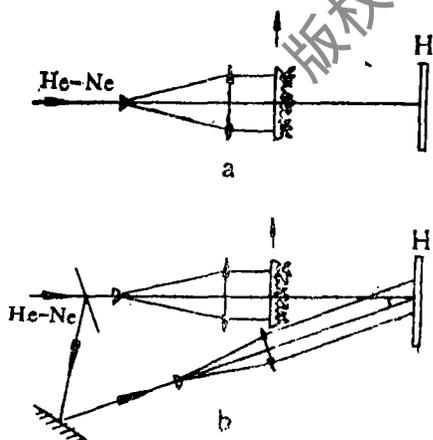


图 3

于散斑对的作用，复盖了杨氏双孔干涉条纹。可以看出，这两组离轴干涉条纹消除了中央渐

晕斑，这就是我们所需要的干涉条纹。

三、离轴与同轴干涉条纹间距之间的关系

由图 4 看出，当用一细激光束照射离轴散斑图时，沿着参考光方向产生的杨氏干涉条纹与中间的同轴条纹的间距不一致，即轴外的干涉条纹的间距变宽。因实际计算时，应以同轴条纹间距为基准，所以要将离轴干涉条纹变成有用的信息，必须找出离轴与同轴干涉条纹间距的关系式。如图 5，为用一细激光束照射离轴散斑图的情况。为讨论方便，

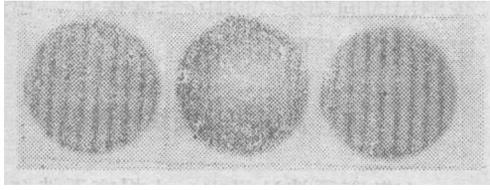


图 4

仅取散斑图上任一孔对。设 S_1 和 S_2 为成对出现的两个散斑，其间距为 d 。激光束垂直于两斑点的连线照射时，由于参考光的作用，正负一级象将沿着参考光的方向，因参考光与物光的夹角为 α ，故对参考光而言，其照射方向与 S_1 和 S_2 的连线不再垂直，而有一 α 夹角。这就等效于垂直照射 S_1 和 S_2' 一样 (S_2' 是 S_2 在参考光垂线方向上的投影)。

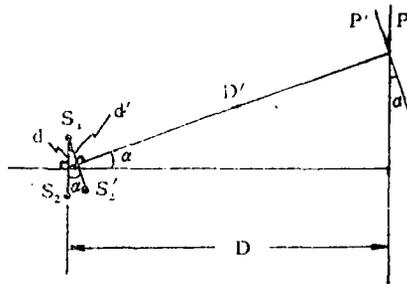


图 5

沿着参考光方向干涉条纹的间距变宽，由图中几何关系得：

$$d' = d \cos \alpha \quad (1)$$

$$D' = \frac{D}{\cos \alpha} \quad (2)$$

由杨氏干涉理论，同轴条纹间距公式为^[4]：

$$e = \lambda D / d \quad (3)$$

式中， λ 为照明光的波长， D 为散斑对到接收屏 P 的距离， e 为同轴杨氏干涉条纹的间距。

同理沿着参考光方向产生的离轴杨氏干涉条纹的间距为：

$$e' = \frac{\lambda D'}{d'} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (4)$$

式中， $\frac{1}{\cos \alpha}$ 是位在 P' 平面上干涉条纹的间距在 P 平面上的投影关系。 e' 为在 P 平面上离轴条纹的间距。

现将 (1)、(2)、(3) 式代入 (4) 式，整理得：

$$e = e' \cos^2 \alpha \quad (5)$$

由 (5) 式看出，只要设法测出离轴干涉条纹的间距 e' 和物光与参考光的夹角 α ，就可以计算出同轴干涉条纹的间距。从而可计算出被测物体的位移。

三、实验验证

为验证公式 (5) 的正确性，我们利用离轴散斑照相光路 (图 3b)，在改变参考光与物光夹角 α 的情况下进行了实验。其中同轴和离轴条纹间距 e 和 e' 是用测量显微镜测出来的， α

值是利用测量照相光路中细光束三角形边长的关系计算出来的。为便于比较，我们把用(5)式计算出来的轴上条纹的间距记为 e_i ，测量中每个值测量了三次，取平均值，其结果列入表

表1 实验结果 单位: mm

测量对象 α	e'	e'	$e_i = e' \cos \alpha$	$\Delta e = e - e_i$
8.26°	5.483	5.633	5.460	0.023
15.02°	3.333	3.717	3.349	-0.016
25.90°	5.700	7.833	5.702	-0.002

1。由测量结果看出，用离轴条纹间距 e' 计算出来的同轴条纹间距 e_i 与用测量显微镜直接测出的同轴条纹间距 e 非常接近，由此证明了理论分析的正确性。

四、离轴干涉条纹的细化

在散斑干涉计量中，为提高干涉条纹间距的测量精度，有人提出将杨氏干涉条纹细化的方法^[5]。即将被测物体做 N 次面内位移($N > 2$)，且每次位移量完全相同，在位移前和每次位移后均曝光一次，且曝光量相同，这样多次曝光记录的散斑图可使杨氏干涉条纹变得细锐，从而可提高测量时的对准精度。尽管如此，轴上散斑仍不能消除中央渐晕斑的影响。但利用离轴散斑照相光路进行多次位移，曝光得到的散斑图，在消除了中央渐晕斑的同时，又使杨氏干涉条纹较同轴条纹更加细锐，见图6。

在散斑干涉计量中，为提高干涉条纹间距的测量精度，有人提出将杨氏干涉条纹细化的方法^[5]。即将被测物体做 N 次面内位移($N > 2$)，且每次位移量完全相同，在位移前和每次位移后均曝光一次，且曝光量相同，这样多次曝光记录的散斑图可使杨氏干涉条纹变得细锐，从而可提高测量时的对准精度。尽管如此，轴上散斑仍不能消除中央渐晕斑的影响。但利用离轴散斑照相光路进行多次位移，曝光得到的散斑图，在消除了中央渐晕斑的同时，又使杨氏干涉条纹较同轴条纹更加细锐，见图6。

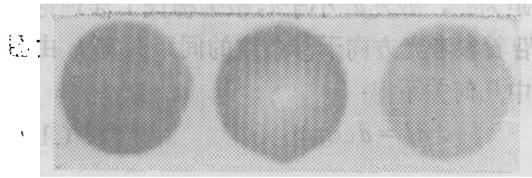


图6

图中的杨氏干涉条纹为物体等量移动六次进行了七次等量曝光而得到的。由图看出，尽管同轴条纹得到了细化，但较离轴条纹仍明显变粗，这样对离轴细化条纹而言，可明显提高测量中的对准精度。至于细化以后的同轴与离轴条纹间距的关系仍为 $e = e' \cos \alpha$ 。

以后的同轴与离轴条纹间距的关系仍为 $e = e' \cos \alpha$ 。

五、讨论

以上对同轴和离轴散斑图进行了理论分析和实验验证，可以看出离轴散斑图的一个特点就是消除了杨氏干涉条纹中中央渐晕斑，使测量精度得到提高。尤其对细化以后的干涉条纹明显变细，可提高测量中的对准精度。同时这种条纹便于自动化测量。但就两者测量光路而言，离轴较同轴多了一支参考光路，增加了测量中的复杂程度，是不利的一面。但我们认为对精密测量而言，其测量精度是主要的。所以离轴散斑干涉计量较同轴具有更多的优点。

参考文献

- [1] [2] [5] 于美文，《光学全息及信息处理》，国防工业出版社，第209~211页。
- [3] 于美文，《云光技术》，1978年，第1~2期，第29页。
- [4] 梁铨廷，《物理光学》，机械工业出版社，第51页。

*

*

*

作者简介：肖明海，见本刊1989年，第13卷，第3期，第56页。

罗林，男，1968年8月出生。现从事光学技术工作。

收稿日期：1989年9月12日。