

纹影摄影术实验探究

中国科学技术大学 物理学院

张静宁 PB14203209

指导老师 崔宏滨

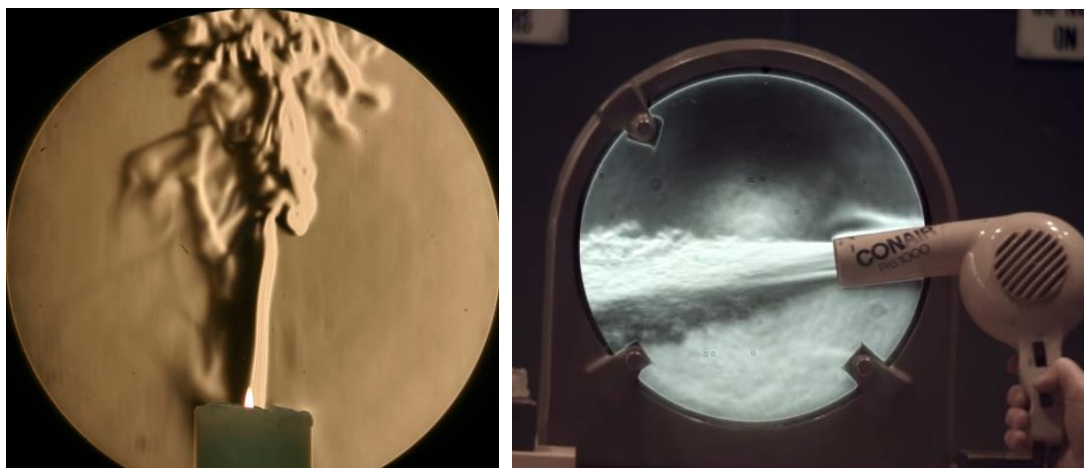
2016 年 12 月 19 日

摘要

这篇论文主要介绍了纹影摄影技术的实验原理，分别基于透镜、球面镜成像的两种纹影光学系统，以及刀刃位置对实验的影响。我们分别实验了蜡烛燃烧、热水蒸发、酒精挥发、电吹风吹气、打火机喷气时气流的形态，针对实验结果分析本次纹影摄影实验的关键和不足。

什么是纹影摄影术？

利用面镜和透镜，纹影摄影技术可以拍到平时肉眼看不到气流形态。它的原理是利用气体密度的变化，导致折射率变化，使光的传播受到扰动，进而将不可看见的气流变化，转化成可以被看见的图像。



如图，右边的图像反映了蜡烛燃烧造成空气密度的变化情况；左边的图反映了电吹风吹出来的气流形态。

应用

这项技术最初被应用于风洞的气流研究，特别是高速激波的研究，但这项技术稍加改变，就

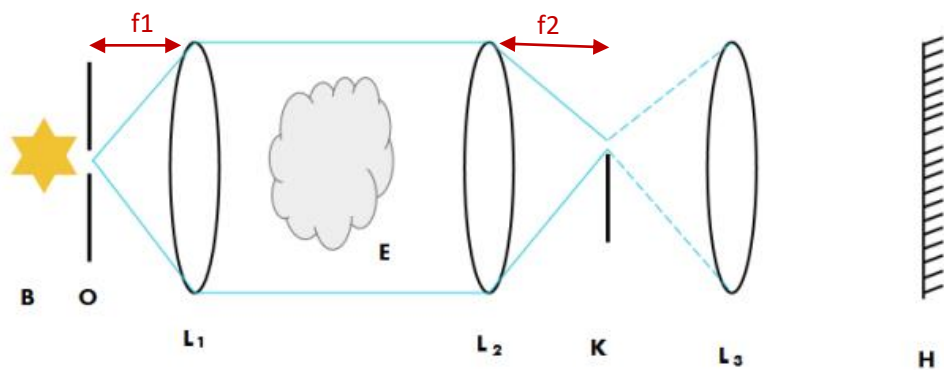
可以应用于探测隐身飞机。利用纹影摄影术还可以将有机气体逸散特性影像化，进而评估局部排气设施气罩捕集有机溶剂蒸汽的真实过程，保证劳工作业安全。

实验原理

一、基于透镜成像的纹影光学系统

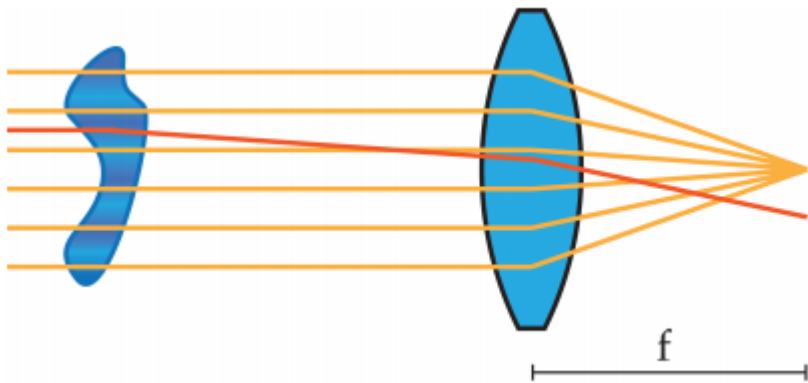
下图是典型的基于透镜成像的纹影光学系统：

B：光源，O：小孔，L1、L2、L3：凸透镜，K：刀片，H：接收屏，E：待测样品



位于 L1 焦点处的点光源，经过 L1 成为平行光；平行光经过待测气体 E，再经过凸透镜 L2 汇聚；刀片 K 放在 L2 的焦点处；光经过 L2、L3 在接受屏 H 成像。

如下图，如果待测气体各向同性（密度均匀、折射率均匀），则平行光会汇聚到透镜焦点处。如果待测气体密度不均匀，折射率不同，则光线会发生偏转，将不会汇聚到透镜焦点处。

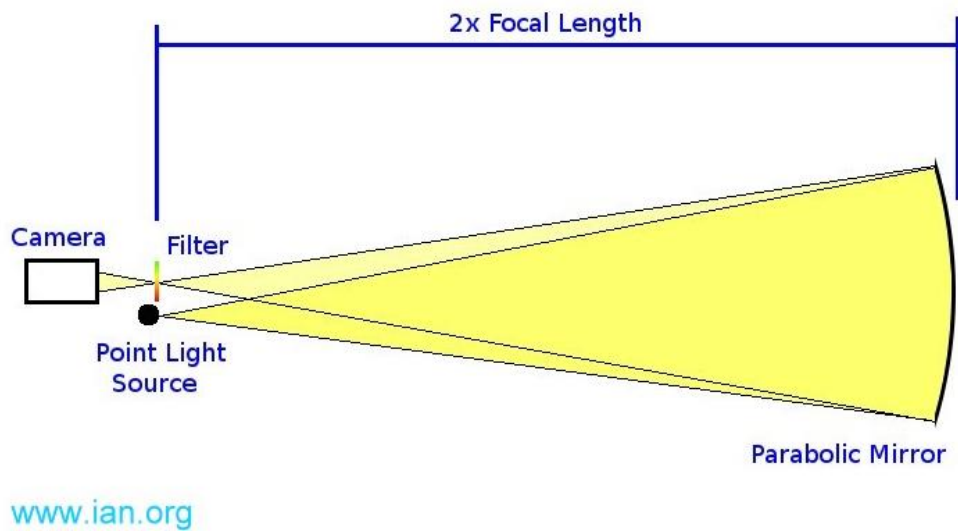


刀片的作用：是为了阻挡因气流而路线走偏的光线，借以得到具有阴影效果的黑白纹影。

二、基于球面镜成像的光学纹影系统

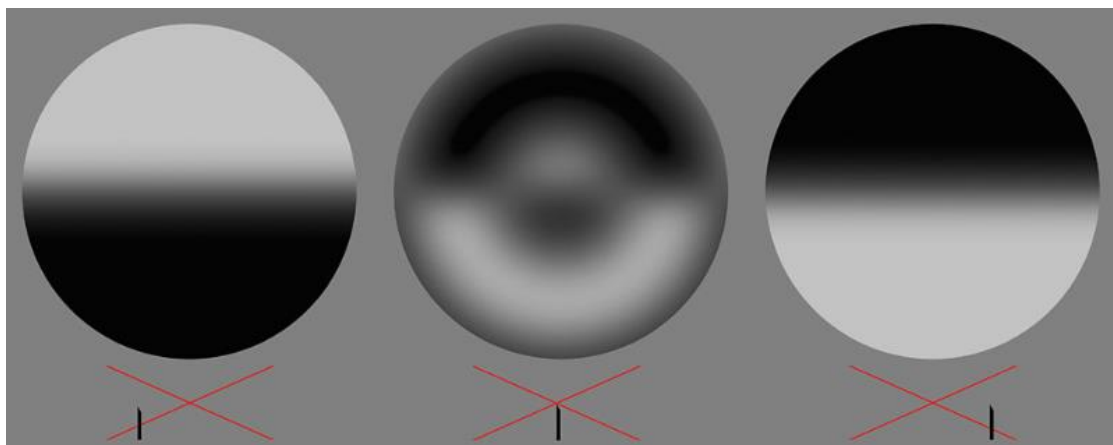
如果你想 DIY 一个纹影装置，你在网上搜到的大部分教程都是针对球面镜成像的光学纹影系统，因为这个装置只需要一个球面镜，搭起来更简单，并且球面镜可以很大、焦距很长，对

气流密度变化的显现放大效果更明显。



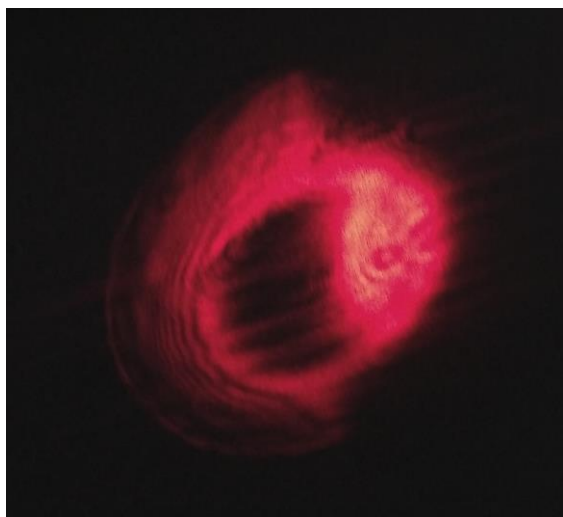
如图，点光源放在球面镜的二倍焦距处，经过球面镜反射将成像在同样的地方。稍稍错开点光源，使得物像并列，并且在像点处放置刀片或者滤光片，在刀片后方放置相机。原理与透镜成像系统相似。

三、福柯刀刃测试（Foucault knife-edge test）



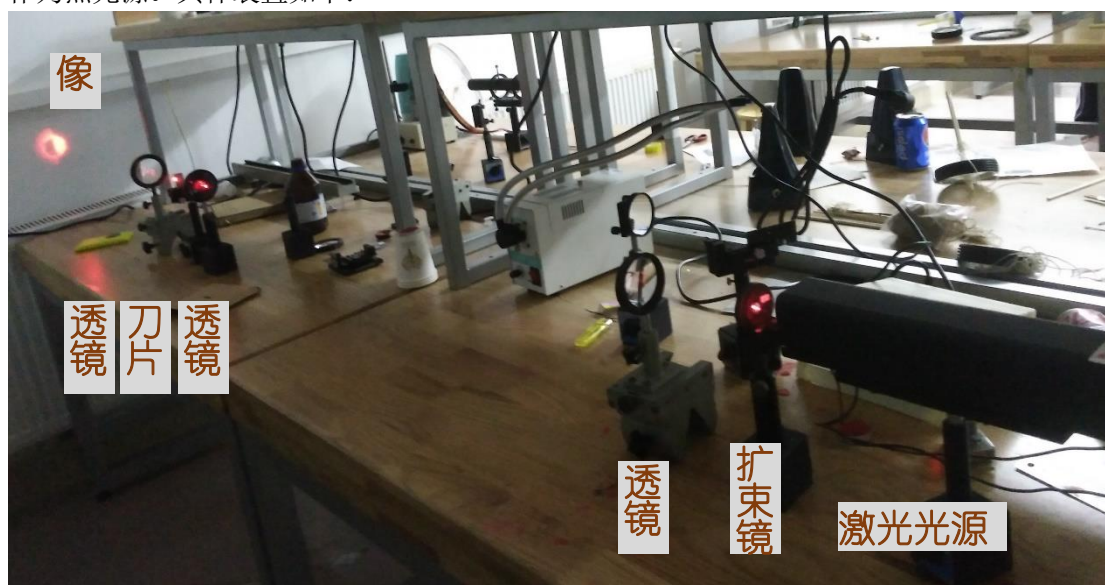
上图中光线是从左到右传播，从左到右的三张图片，分别是刀片在焦点前方，刀片正好处于焦点位置，刀片在焦点后方成像的情况。可以看到，当刀片正好处于焦点处时，接收屏上的图像并不是黑白各一半。我们可以根据这个原理来调整刀片的位置，使之处于精确的位置，从而得到更好的实验结果。

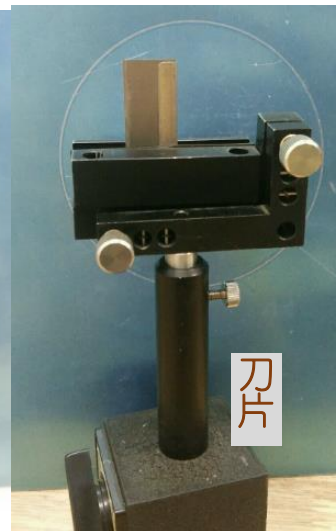
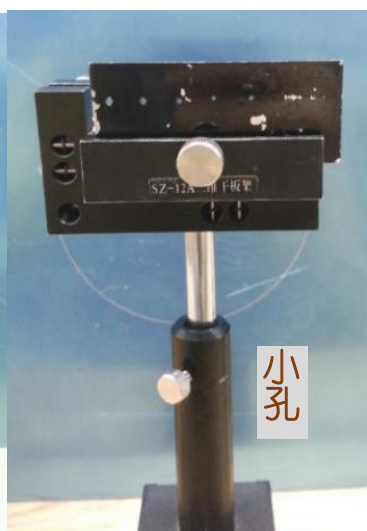
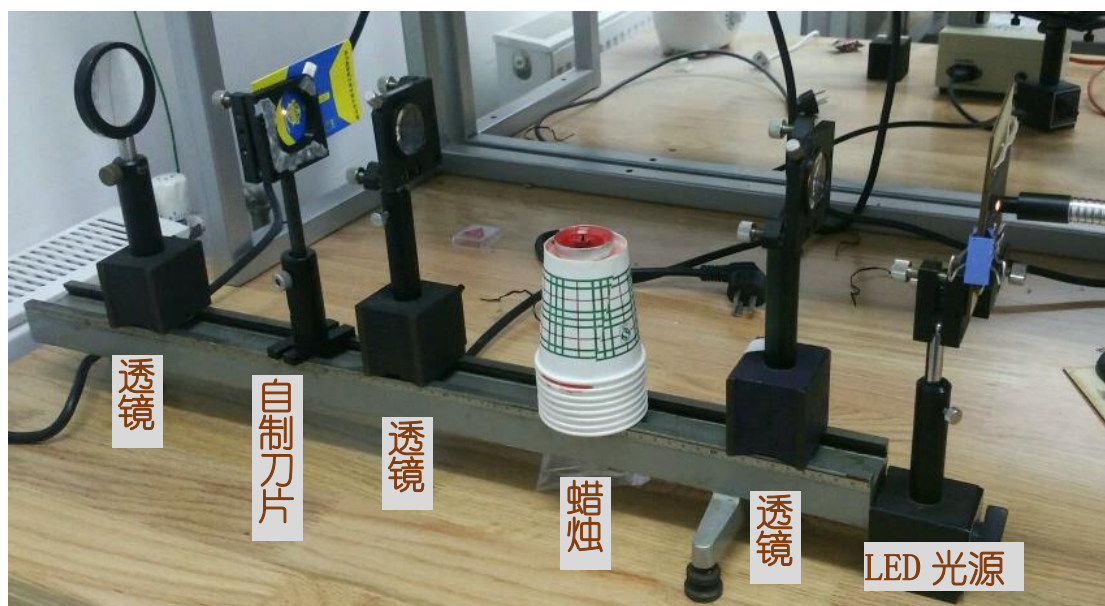
下图是我们用激光作为光源时，刀片处于合适的位置得到的图像：



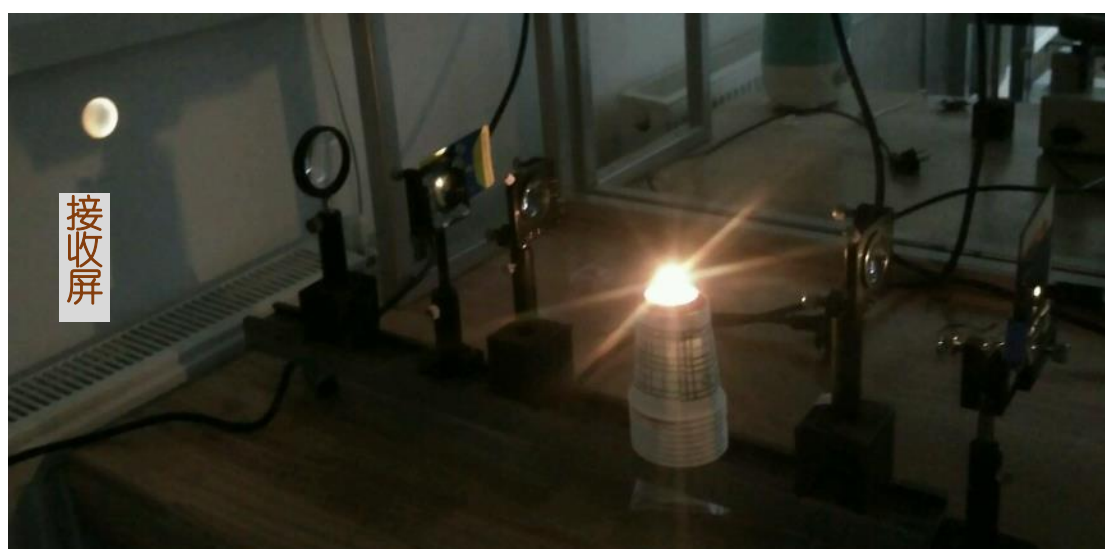
实验装置

我们分别采用激光光源和 LED 光源，激光前加一个扩束镜作为点光源，LED 灯前放一个小孔作为点光源。具体装置如下：





我们直接把白墙壁作为接收屏。



实验结果与分析

我们实验了以下几个样品造成的气流形态：

1. 蜡烛 - 燃烧
2. 打火机 - 喷气
3. 热水 - 水蒸气
4. 电吹风 - 热风
5. 酒精 - 挥发

我们录制并剪辑一个实验效果的视频，见附件。

结果分析：

1. 实验时，应该关掉外部光源，营造较为黑暗的环境。
2. 扩大两个透镜 L1、L2 之间的距离，可以放大实验效果
3. 刀片的位置很关键，一定要在焦点处，并且挡光合适。
4. 由于我们用的是透镜，使用 LED 白光光源时接收屏上的光斑色散效果比较明显，L1、L2 之间的距离越大，色散越明显，使得图像变化（黑白阴影）看不清。
5. 改成激光光源后，色散消除，使得气体形态动态变化较为明显，实验效果有所提升。
6. 相机录像的质量要求比较高，肉眼看到的往往比相机拍出来的效果好，应该努力提高拍照质量。
7. 我们尝试去掉接收屏，把相机直接放在刀片后方，但无法拍摄到想要的效果。这个问题没有解决。

参考文献

- [1] Schlieren Photography - Seeing Air (Ian Smith, ian.org), <http://www.ian.org/Schlieren/>
- [2] N. Degen. An Overview on Schlieren Optics and its applications (Thesis at ETH Zürich, 2012), <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:9039/eth-9039-01.pdf>
- [3] A. Mazumdar. Principles and techniques of Schlieren imaging systems (Columbia University, Tech. Rep., 2013), <http://core.ac.uk/download/pdf/27296576.pdf>
- [4] Schlieren Optics (youtube, Harvard Natural Sciences Lecture Demonstrations, Jan 24, 2014), https://youtu.be/mLp_rSBzteI
- [5] How To: Build Your Own Schlieren Setup (youtube, JoshTheEngineer, Sep 7, 2015), <https://youtu.be/IZ0bYi9UFv8>
- [6] Schlieren Photography - How Does It Work? (Ian Smith, ian.org), <http://www.ian.org/Schlieren/HowTo.html>
- [7] Harvard Schlieren Optics, <http://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/schlieren-optics>
- [8] 跟着郑大师玩科学——纹影 <http://www.masters.tw/126911/schlieren>
- [9] 纹影摄影术简介 <http://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Download/Download.ashx?type=SafetyMessageArticles&id=1430>
- [10] 纹影摄影技术(Schlieren Photography)的应用 <http://science.sumlook.com/2009/04/schlieren.html>

[11] Wikipedia-Foucault knife-edge test https://en.wikipedia.org/wiki/Foucault_knife-edge_test

[12] <http://www.atm-workshop.com/foucault.html>

最后

1. 感谢崔宏滨老师指导
2. 感谢大物实验中心提供实验环境
3. 感谢朱玲老师借光学仪器
4. 感谢 cuihao 同学帮忙录像与剪辑视频
5. 感谢戴明威同学互相交流

注：除了实验拍摄的照片，其余图片来自于网络，侵删